

**STUDI PERBANDINGAN ELEKTRODA E7016 IMPOR DAN
E480-16 LOKAL TERHADAP KARAKTERISASI HASIL
LAS PADA METODE PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

SANDY PERMANA

3334190079

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERBANDINGAN ELEKTRODA E7016 IMPOR DAN
E480-16 LOKAL TERHADAP KARAKTERISASI HASIL
LAS PADA METODE PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

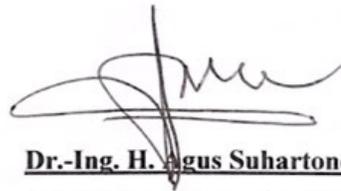
Pembimbing I



Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T.

NIP. 197401032005012001

Pembimbing II



Dr.-Ing. H. Agus Suhartono

NIP. 196709031992021001

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI PERBANDINGAN ELEKTRODA E7016 IMPOR DAN
E480-16 LOKAL TERHADAP KARAKTERISASI HASIL
LAS PADA METODE PENGELASAN SMAW**

Disusun dan diajukan oleh:

Sandy Permana

3334190079

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

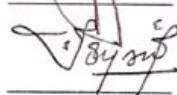
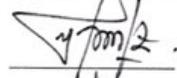
Susunan Dewan Penguji

Penguji I : **Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T.**

Penguji II : **Dr.-Ing. H. Agus Suhartono**

Penguji III : **Suryana, S.T., M.Si.**

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Studi Perbandingan Elektroda E7016 Impor Dan E480-16
Lokal Terhadap Karakterisasi Hasil Las Pada Metode
Pengelasan SMAW

Nama Mahasiswa : Sandy Permana

NIM : 3334190079

Fakultas : Teknik Metalurgi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 18 Februari 2024



Sandy Permana
NIM. 3334190079

ABSTRACT

Currently, the manufacturing industry is progressing very rapidly. One of them is in the field of welding. To achieve good welding standards standard requires control of certain variables such as electrode type and welding current strength. SMAW welding has the principle of melting and unifying material through heating using an electric arc that is created between the metal components and the x-shaped electrode. In industrial marketing, there are many types of electrodes used so that many of the fabrication uses each electrode for its respective application. But not a few of the electrodes that are on the market have standardization in accordance with standards that refer to AWS A5.1. Electrode or referred to as welding wire is an object used in welding to become a source of the electric flame. A good electrode type affects the results of welding results as well. In addition, the current strength also affects the welding results where the right current strength will produce deep penetration. Because in this study, samples of electrodes that are not well standardized will be compared with electrodes that are well standardized. will be compared with electrodes whose standardization is recognized by all manufacturing industries. The electrodes used in this study are both local and imported electrodes as a comparison of their characteristics and also carried out variation of current strength. The current strength variations used were 120 Ampere, 155 Ampere and 190 Ampere. This was done for a comparison and knowing the best quality of the two electrodes and the variation of current strength used. Measurements are made by testing the results of welding results. The tests carried out include XRF testing to determine the percent of elements. Impact mechanical testing, bending testing and tensile testing to determine the mechanical properties of the two welds. As well as OM testing (Optical Microscope) to determine the phase structure formed in the welding results. From the results obtained, it is known that imported electrodes have better characteristics than local electrodes. And the current strength affects the the results of the weld performed.

Keywords: Welding, SMAW, ASTM A36, Electrode, Current Strength

ABSTRAK

Pada saat ini bidang industri manufaktur mengalami kemajuan yang sangat pesat. Salah satunya adalah pada bidang pengelasan. Untuk mencapai standar las yang baik dibutuhkan kontrol terhadap variabel tertentu misalnya jenis elektroda dan kuat arus las. Pengelasan SMAW memiliki prinsip melebur dan menyatukan material melalui pemanasan menggunakan suatu busur listrik yang tercipta di antara komponen logam dengan elektroda berbentuk seperti x. Pada pemasaran industri, terdapat banyak sekali jenis elektroda yang digunakan sehingga banyak dari fabrikasi menggunakan setiap elektroda untuk aplikasinya masing-masing. Tetapi tidak sedikit dari elektroda yang berada dipasaran memiliki standarisasi sesuai dengan standard yang mengacu pada AWS A5.1. Elektroda atau disebut sebagai kawat las merupakan sebuah benda yang digunakan dalam pengelasan untuk menjadi sumber dari nyala listrik. Jenis elektroda yang baik berpengaruh pada hasil pengelasan yang baik pula. Selain itu kuat arus juga berpengaruh pada hasil pengelasan dimana kuat arus yang tepat akan menghasilkan penetrasi yang dalam. Oleh karena pada penelitian ini, sampel elektroda yang tidak terstandarisasi dengan baik akan dibandingkan dengan elektroda yang standarisasinya diakui oleh semua industri manufaktur. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda lokal dan impor sebagai suatu perbandingan karakteristiknya dan juga dilakukan variasi kuat arus. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere. Hal tersebut dilakukan untuk sebuah perbandingan dan mengetahui kualitas terbaik dari kedua elektroda dan variasi kuat arus yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan cara melakukan pengujian terhadap hasil las. Pengujian yang dilakukan antara lain adalah pengujian XRF untuk mengetahui persen unsur. Pengujian mekanik impak, pengujian *bending* dan pengujian tarik untuk mengetahui sifat mekanik dari kedua hasil las. Serta pengujian OM (*Optical Microscope*) untuk mengetahui struktur fasa yang terbentuk pada hasil las. Dari hasil yang didapatkan diketahui bahwa elektroda impor memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan jenis elektroda lokal. Serta kuat arus berpengaruh pada hasil las yang dilakukan.

Kata Kunci : Pengelasan, SMAW, ASTM A36, Elektroda, Kuat Arus

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Perbandingan Jenis Elektroda E7016 Impor dan E480-16 Lokal Terhadap Karakterisasi Hasil Las Pada Metode Pengelasan SMAW”. Penyusunan skripsi ini dilaksanakan guna memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Skripsi di jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Abdul Aziz, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi sekaligus sebagai Koordinator Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
2. Ibu Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I Skripsi.
3. Bapak Dr.-Ing. H. Agus Suhartono sebagai Pembimbing II Skripsi
4. Bapak Suryana, S.T., M.Si. sebagai Pembimbing III Skripsi
5. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
6. Keluarga penulis yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan selama proses penyusunan skripsi penulis.
7. Teman-teman Angkatan Teknik Metalurgi 2019 yang selalu mendukung penulis untuk memberikan pemikiran dan saran.
8. Alya Firzana yang selalu mendampingi penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Semoga semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi dari penulis bisa dibalas oleh Allah SWT. Adapun penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan serta kekurangan dari skripsi yang penulis buat. Untuk itu, penulis mengharapkan tanggapan berupa kritik serta saran dari pembaca agar ini menjadi lebih baik. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk

pembacanya dan dapat diaplikasikan di segala bidang terutama pada di dunia industri.

Cilegon, 2024

Sandy Permana

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja ASTM A36	5
2.1.1 Baja Karbon.....	7
2.1.1 ASTM A36.....	7
2.2 Pengelasan.....	8
2.2.1 Klasifikasi Pengelasan (Jenis)	10
2.2.2 Klasifikasi Pengelasan (Sumber Energi).....	11
2.3 Pengelasan SMAW	11
2.3.1 Jenis Sambungan (<i>Weld Joint</i>)	13
2.4 Posisi Pengelasan	14
2.5 Pengelasan Baja ASTM A36.....	17
2.6 Elektroda SMAW	18
2.6.1 Elektroda E-7016.....	18
2.6.2 Elektroda E480-16.....	21
2.7 Struktur Mikro.....	22
2.8 Pengujian <i>X-Ray Fouresence</i>	23
2.9 Pengujian Radiografi (RT)	24
2.8 Pengujian Tarik (UT)	25

2.9	Pengujian <i>Impak</i> (UI)	26
2.10	Pengujian Tekuk (<i>Bending Test</i>).....	28
2.10.1	Pengujian Tekuk Melintang	29
2.10.2	Pengujian Tekuk Memanjang.....	30

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir	31
3.2	Alat dan Bahan.....	32
3.2.1	Alat yang Digunakan	32
3.2.2	Bahan yang Digunakan.....	32
3.3	Prosedur Percobaan	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i>	41
4.2	Hasil Karakterisasi Pengujian Radiografi	44
4.2.1	Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda Lokal.....	46
4.2.2	Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda Impor	50
4.3	Hasil Karakterisasi Pengujian Impak	53
4.4.1	Pembahasan dan Analisis Pengujian Impak Elektroda Lokal	56
4.4.2	Pembahasan dan Analisis Pengujian Impak Elektroda Impor	58
4.4	Hasil Karakterisasi Pengujian <i>Bending</i>	59
4.4.1	Pembahasan dan Analisis Pengujian <i>Bending</i> Elektroda Lokal	60
4.4.2	Pembahasan dan Analisis Pengujian <i>Bending</i> Elektroda Impor.....	61
4.5	Hasil Karakterisasi Pengujian Tarik	62
4.5.1	Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Elektroda Lokal	62
4.5.2	Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Elektroda Impor	64
4.6	Hasil Karakterisasi Pengujian <i>Optical Microscope</i>	65
4.6.1	Pembahasan dan Analisis Pengujian <i>Optical Microscope</i> Jenis Elektroda Lokal.....	66
4.6.2	Pembahasan dan Analisis Pengujian <i>Optical Microscope</i> Jenis Elektroda Impor	70

BAB III KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN A LEMBAR PERHITUNGAN	84
LAMPIRAN B HASIL PENELITIAN.....	91
LAMPIRAN C ALAT DAN BAHAN PENELITIAN.....	102

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Baja Konstruksi	5
2.2	Bentuk Sambungan <i>Lap Joint</i>	13
2.3	Bentuk Sambungan <i>Butt Joint</i>	14
2.4	Bentuk Sambungan Sudut Pengelasan	14
2.5	Posisi <i>Flat Welding</i>	15
2.6	Posisi <i>Horizontal Welding</i>	15
2.7	Posisi <i>Vertical Welding</i>	16
2.8	Skema Pengelasan	16
2.9	Daerah Pengelasan Baja ASTM A36	17
2.10	Diagram CCT	22
2.11	Skematik Pengujian XRF	23
2.12	Skema Pengujian Radiografi	24
2.13	Mesin Uji Tarik (<i>Universal Testing Machine</i>)	25
2.14	Uji Impak Charpy	27
2.15	Uji Impak Izod	27
2.16	Skema Pengujian Tekuk	29
2.17	Jenis <i>Transversal Bending</i>	30
2.18	Jenis <i>Longitudinal Bending</i>	31
3.1	Diagram Alir Penelitian	32
3.2	Sketsa Pemotongan Sampel	35
3.3	Sudut dan Ukuran Benda Uji Las	35
4.1	Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Lokal (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A	47
4.2	Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Lokal (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A	50
4.3	Grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda lokal	56

4.4	Grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda impor	58
4.5	Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Lokal	62
4.6	Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Lokal	64
4.7	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	66
4.8	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	67
4.9	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	68
4.10	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	70
4.11	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	71
4.12	Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM	70
B.1	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Lokal 120 Ampere	92
B.2	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Lokal 155 Ampere	93
B.3	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Lokal 190 Ampere	94
B.4	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Impor 120 Ampere	95
B.5	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Impor 155 Ampere	96
B.6	<i>Run Sheet Welding</i> Elektroda Impor 190 Ampere	97
B.7	Data Pengujian Impak	98
B.8	Laporan Hasil Uji Tertulis BRIN	98

B.9	Laporan Hasil Uji Statis BRIN	99
B.10	Hasil Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Lokal	100
B.11	Hasil Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Impor	100
B.12	Hasil Pengujian <i>Bending</i> Tertulis BRIN	100
B.13	Hasil Karakterisasi <i>Bending</i> Elektroda Lokal	101
B.14	Hasil Karakterisasi <i>Bending</i> Elektroda Impor	101
C.1	Alat Uji XRF	103
C.2	Alat Uji <i>Bending</i>	103
C.3	Alat Uji <i>Impact</i>	103
C.4	Alat Uji OM	103
C.5	Alat Uji Tarik	103
C.6	Mesin Las SMAW	103
C.7	Tang Ampere	103
C.8	Mesin Gerindra	103
C.9	Palu	104
C.10	Mesin Las <i>Cutting</i>	104
C.11	Welding Gauge	104
C.12	Meja Las	104
C.13	Sarung Tangan	104
C.14	Kacamata Las	104
C.15	Apron Las	104
C.16	Kertas Amplas	104
C.17	Pelat ASTM A36	105
C.18	Elektroda Lokal	105
C.19	Elektroda Impor	105
C.20	Pasta Alumina	105

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Komposisi Kimia Baja ASTM A36	8
2.2	Komposisi Elektroda E-7016	21
2.3	Komparasi Uji Impak Charpy vs Izod	28
4.1	Spesifikasi Pengelasan	41
4.2	Tabel Senyawa XRF Elektroda Lokal	42
4.3	Tabel Senyaw XRF Elektroda Impor	43
4.4	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 120 Ampere	47
4.5	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 155 Ampere	47
4.6	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 190 Ampere	48
4.7	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 120 Ampere	51
4.8	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 155 Ampere	51
4.9	Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 190 Ampere	52
4.10	Data Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Lokal	57
4.11	Data Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Impor	59
4.12	Hasil dari Karakterisasi <i>Bending</i> Elektroda Lokal	62
4.13	Hasil dari Karakterisasi <i>Bending</i> Elektroda Impor	63
4.14	Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Lokal	64
4.15	Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Impor	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur sangatlah berkembang pesat seiring berjalannya waktu, sehingga banyak perusahaan konstruksi yang banyak membuat sesuatu untuk pembangunan negeri. Untuk membuat produk konstruksi yang berkualitas maka proses fabrikasi sangatlah diperhatikan. Salah satu yang harus diperhatikan adalah bahan yang digunakan harus terbukti asli sertifikatnya. Karena beberapa bahan yang dipesan mempunyai *mild* sertifikat yang tidak asli. Hal ini ditandai dengan pemakaian suatu produk hasil proses fabrikasi yang tidak cukup lama. Oleh karena itu diperlukan pengujian sesuai standard yang ada untuk mengetahui kualitas dari setiap material yang ingin digunakan. Standard yang biasa digunakan adalah ASTM (*American Society for Testing and Material*) , SNI (Standar Nasional Indonesia), ISO (*International Standardization Organization*), API (*American Petroleum Institute*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) dan masih banyak lagi.

Pada proses fabrikasi yang dijelaskan di atas, penelitian ini tertuju pada proses sambungan logam yaitu pengelasan. Pengelasan ini mempunyai banyak jenisnya sesuai dengan prinsip kerja dan hasil sambungannya, contohnya pengelasan metalurgi, pengelasan mekanik dan pengelasan kimiawi. Pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengelasan metalurgi dengan jenis las busur yaitu SMAW. Jenis ini paling banyak dipakai dimana-mana untuk hampir semua keperluan pekerjaan pengelasan. Tegangan yang dipakai bisa variatif atau

tergantung keperluan sedangkan untuk pencairan pengelasan dibutuhkan arus hingga 500 Ampere. Namun secara umum yang dipakai berkisar 80 – 200 Ampere. Selain itu pengelasan SMAW ini menggunakan jenis arus AC atau DC.

Pada pasar industri manufaktur masih banyak ditemukan elektroda yang masih di bawah standard pengelasan. Oleh karena itu elektroda ini harus mengalami beberapa pengujian sehingga kesesuaian standard pada elektrodanya bisa memenuhi syarat ataupun diakui. Elektroda yang digunakan pada proses pengelasan untuk penelitian ini dibuat dari jenis elektroda dengan merk yang berbeda yaitu elektroda lokal yang dapat ditemui pada penelitian ini yaitu E480-16 lokal dan elektroda impor E7016 yang memiliki spesifikasi yang hampir sama dengan elektroda lokal. Elektroda ini biasanya digunakan sebagai bahan dasar suatu produk misalnya kendaraan, konstruksi bangunan, pipa, tangki minyak dan lain-lain. Hal ini karena baja mempunyai sifat yang mudah dibentuk. Hampir semua produk yang dihasilkan memerlukan proses penyambungan logam dengan proses pengelasan maka dari itu teknologi pengelasan sangat berperan untuk memperoleh kekuatan sambungan las yang optimal.

Berdasarkan penjelasan yang sudah dibahas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fluks elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan terhadap sifat mekanis, struktur mikro dan cacat logam yang dilas. Untuk dapat mengetahuinya, maka dilakukan pengujian NDT (*Non Destructive Test*) dan DT (*Destructive Test*), yang dilakukan pada baja karbon rendah dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 07-0049-1987 elektroda las terbungkus baja karbon rendah, mutu dan cara uji dari hasil pengelasan dua jenis elektroda yang berbeda

merk. Pengaruh hasil penelitian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari komposisi fluks sifat mekanik dan struktur mikro pada jenis elektroda lokal dan impor yang akan diteliti apakah sudah memenuhi kriteria sesuai dengan standar SNI 07-0049-1987. Hipotesis dari penelitian ini adalah karakteristik dari komposisi unsur pada fluks elektroda lokal dan impor yang akan mempengaruhi hasil sambungan las dimana cacat pengelasan, hasil dari kekuatan mekanik dan struktur mikro pada sambungan las dijadikan dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dirumuskan, didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fluks serta variasi arus terhadap jenis dan kuantitas dari cacat pengelasan sesuai standard kriteria SNI 07-0049-1987 dengan pengelasan SMAW.
2. Bagaimana pengaruh fluks serta variasi arus terhadap sifat mekanik sambungan las yang meliputi kekuatan tarik, impak dan *bending* pada perbandingan elektroda las dengan metode pengelasan SMAW.
3. Bagaimana pengaruh fluks serta variasi arus terhadap struktur mikro dengan pengelasan SMAW.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian secara umum adalah untuk mengetahui perbandingan elektroda lokal dan elektroda impor pada hasil las dan sifat mekanik menggunakan metode pengelasan SMAW. Tujuan khusus yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh fluks serta variasi arus terhadap jenis dan kuantitas dari cacat pengelasan sesuai standard kriteria SNI 07-0049-1987 dengan pengelasan SMAW.
2. Mengetahui pengaruh fluks serta variasi arus terhadap sifat mekanik sambungan las yang meliputi kekuatan tarik, impak dan *bending* pada perbandingan elektroda las dengan metode pengelasan SMAW.
3. Mengetahui pengaruh fluks serta variasi arus terhadap struktur mikro dengan pengelasan SMAW.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di BBPVP Serang dan dilanjutkan di Laboratorium Kekuatan Teknologi Struktur BRIN Serpong.
2. Bahan yang digunakan yaitu baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan bahan 10 mm.
3. Spesimen yang digunakan akan dipotong untuk dilakukan karakterisasi
4. Pengelasan ini menggunakan jenis pengelasan SMAW dengan menggunakan elektroda lokal dan impor.
5. Jenis sambungan yang digunakan yaitu sambungan V *butt joint* dengan variasi sudut 60°.
6. Pengelasan yang dilakukan pada posisi 3G (*Up-Hill*)

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang adanya penelitian mengenai pengelasan SMAW, rumusan

masalah merupakan dasar penelitian ini, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang teori mengenai, Pengelasan, Pengelasan SMAW, Baja ASTM A 36, Elektroda lokal dan impor, macam-macam sambungan las dan juga karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini juga dibahas pada bab II. Karakterisasi yang digunakan adalah XRF, Uji Radiografi, Uji Impak, Uji *Bending*, Uji Tarik dan Uji OM. Bab III berisi metodologi penelitian yang akan menjelaskan mengenai diagram alir penelitian, alat serta bahan yang digunakan saat penelitian, serta prosedur saat melakukan penelitian. Bab IV berisi tentang hasil dan pembahasan dari data kuantitatif yang didapatkan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan. Bab V berisi tentang kesimpulan dari penelitian dan saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya. Selanjutnya ada lampiran dimana lampiran A berisi tentang lembar perhitungan, lampiran B berisi tentang lampiran hasil pengujian dan lampiran C berisi tentang gambar alat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja ASTM A36

Baja merupakan bagian dari logam *ferrous* yang sudah dijelaskan pada paragraf sebelumnya. Baja sendiri adalah paduan antara unsur besi dengan karbon untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap fraktur. Dalam aplikasinya, baja ditambahkan beberapa unsur padu lainnya untuk mencapai sifat yang diinginkan, contohnya paduan *stainless steel* yang memadukan 11% kromium untuk mencapai sifat ketahanan korosi. Dengan sifat umumnya yaitu *tensile strength* yang tinggi, maka baja menjadi bahan dasar untuk aplikasi konstruksi, persenjataan dan pertahanan, serta otomotif (Llewellyn, 1992). Gambar 2.1 menunjukkan struktur baja konstruksi pada umumnya.



Gambar 2.1 Baja Konstruksi (Investopedia, 2019)

Sifat mekanik dari baja bervariasi berdasarkan elemen padamunya, namun untuk rata-rata yang biasa didapat adalah 7,750 hingga 8,050 kg/m³ untuk densitas, dan nilai *ultimate tensile strength* adalah 420 MPa. Akan tetapi, hal ini kembali bergantung pada unsur padamunya, khususnya adalah fraksi berat karbon yang

terlibat dalam produk baja. Oleh karena itu, terdapat beberapa jenis baja yang biasa ditemukan pada dunia perindustrian, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Pada setiap jenis baja karbon memiliki kadar kandungan unsurnya masing-masing. Pada setiap unsur tersebut memiliki fungsinya masing-masing diantaranya yaitu (Azwinur & Muhazir, 2019):

- a. *Manganese* (Mn): Mangan berfungsi sebagai pengikat karbon yang akan membentuk karbida mangan (Mn_3C) sehingga mangan ini dapat menambahkan kekuatan, ketangguhan baja dan kekerasan. Oleh karena itu, penambahan mangan dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat yang lebih rendah dari karbon.
- b. *Phosphorus* (P): Penambahan fosfor dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi mengakibatkan elastisitasnya dapat berkurang sehingga berdampak pada ketangguhannya terutama pada baja karbon tinggi yang di *quenching* dan *tempering*.
- c. *Sulphur* (S): Sulfur tidak meningkatkan sesuatu pada material melainkan dapat menurunkan sifat mampu las. Sehingga unsur ini sangat merugikan bagi material yang dilas maupun elektroda, tetapi unsur ini dapat meningkatkan *hot shortness*.
- d. *Silicon* (Si): Penambahan *silicon* dapat meningkatkan kekerasan tetapi tidak sebesar mangan untuk peningkatannya. Tetapi semakin meningkatnya *silicon* maka material ini dapat mudah retak dan memperburuk keretakannya. Oleh karena itu, kandungan unsur ideal

untuk material yaitu sebesar 0,10%.

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur lainnya seperti karbon, mangan, *silicon*, nikel, *molybdenum*, niobium, vanadium dll. Baja karbon memiliki sifat yang baik hal ini dikarenakan jenis baja ini dapat disesuaikan komposisi dari unsumnya sehingga dapat menyesuaikan untuk pengaplikasian yang akan digunakan. Jenis baja menurut kandungan karbonnya yaitu *low carbon steel* memiliki kandungan karbon 0,05-0,15%. *medium carbon steel* memiliki kandungan karbon 0,3-0,5%. *High carbon steel* memiliki kandungan karbon antara 0,6-1% dan *ultra high carbon steel* memiliki kandungan karbon 1,25-2%. Sedangkan jika kandungan karbon di atas 2% disebut dengan *cast iron* (Gandy, 2007). Aplikasi baja karbon dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti boiler, *vessels*, *heat exchanger*, pipa dan sistem aplikasi menggunakan tekanan tinggi (Gandy, 2007).

2.1.1 ASTM A36

ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3% dan juga dikenal sebagai *mild steel*. Harga produk dari *mild steel* ini jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan baja lainnya. Dengan harganya yang lebih murah, maka baja ini juga tidak sekuat baja lainnya dan diaplikasikan untuk hal yang tidak terlalu mementingkan kekuatan yang begitu tinggi untuk material dasarnya. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia dari baja ASTM A36.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A36 (ASTM, 2005)

Unsur (%)	Komposisi
C	0,17
Si	0,04
S	0,05
P	0,04
Cu	0,2

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari baja karbon ASTM A36. Jenis baja karbon ASTM A36 sering digunakan dalam aplikasi konstruksi. Baja ASTM A36 memiliki komposisi karbon maksimum sebesar 0,29%. Jenis baja ini dikenal memiliki sifat yang kuat, ulet, mudah dibentuk, tangguh dan dapat dilas. Aplikasi baja ASTM A36 sangat luas pada bidang konstruksi sampai dengan peralatan rumah tangga selain itu jenis baja ini juga dapat dibentuk dalam bentuk pelat, batangan, balok dan bentuk struktural bangunan (ASTM, 2005).

2.2 Pengelasan

Las merupakan suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair atau leleh. Dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Ikatan metalurgi yaitu ikatan antar atom-atom atau molekul – molekul dari logam yang disambungkan (Wiryosumarto, 2000).

Penyambungan logam adalah suatu proses yang dilakukan untuk menyambung dua atau lebih bagian logam. Penyambungan bagian-bagian logam ini dapat dilakukan dengan berbagai macam metoda sesuai dengan kondisi dan bahan yang digunakan. Setiap metoda atau teknik penyambungan logam yang digunakan mempunyai keuntungan tersendiri dari metoda lainnya, sebab metode penyambungan yang digunakan pada suatu konstruksi sambungan harus disesuaikan dengan kondisi yang ada, hal ini mengingat efisiensi, kompatibilitas, dan kekuatan sambungan (Kou, 2003). Untuk berhasilnya penyambungan, diperlukan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yang antara lain adalah (ASTM International, 2003).

- a. Benda padat tersebut dapat cair atau lebur oleh panas.
- b. Antara benda-benda padat yang akan disambung harus memiliki kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau menggagalkan sambungan tersebut.
- c. Cara-cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungannya.

Seiring dengan adanya kemajuan teknologi, baik proses pengelasan yang menggunakan bahan tambahan atau *filler* maupun yang tanpa menggunakan bahan tambahan. Teknologi pengelasan yang terbaru adalah proses pengelasan yang menggunakan energi putaran yang nantinya akan terjadi gesekan dan menimbulkan panas yang tinggi dan dapat digunakan untuk proses pengelasan yang biasanya disebut dengan proses las *friction welding*. Pengelasan diklasifikasikan dalam tiga jenis berdasarkan cara kerjanya, yaitu pengelasan tekan, pengelasan cair dan pematrian (Hashimi, 2014).

2.2.1 Klasifikasi Pengelasan (Jenis)

Dalam aplikasinya, proses pengelasan atau penyambungan beberapa logam dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, yaitu :

- a. Pengelasan Tekan: Pengelasan tekan adalah Sebuah proses pengelasan yang dilakukan dengan cara material dipanaskan kemudian ditekan hingga kedua material tersambung menjadi satu. Contohnya adalah las ledak, las gesek, las tempa.
- b. Pengelasan Cair: Pengelasan Cair adalah sebuah proses pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan bagian yang akan disambung hingga mencair dengan sumber panas dari energi listrik atau api dari pembakaran gas baik menggunakan bahan tambah atau tanpa menggunakan bahan tambah (*filler*/elektroda). Contohnya adalah las busur listrik dan las gas.
- c. Pematrian adalah sebuah cara menyambung dua logam dengan sumber panas dengan menggunakan bahan tambah yang mempunyai titik cair lebih rendah, pada proses pematrian ini logam induk tidak ikut mencair.
- d. Pematrian: Perbedaan antara pengelasan dan pematrian adalah jika pada pengelasan logam induk dan elektroda (logam pengisi) keduanya ikut mencair atau *melting*, sedangkan pada pematrian yang mencair hanya bahan tambah atau *filler* metalnya sedangkan logam induk tidak karena mempunyai temperatur leleh yang lebih tinggi. Contohnya adalah *brazing* dan *soldering*.

2.2.2 Klasifikasi Pengelasan (Sumber Energi)

Pengelasan dapat dikelompokkan lagi berdasarkan daripada sumber energi yang digunakan. Energi disini sendiri mencakup sebagai penggerak dari las itu sendiri. Untuk klasifikasi pengelasan berdasarkan kepada sumber energi dapat dilihat pada poin-poin di bawah ini:

- a. Energi Listrik : Merupakan energi yang memanfaatkan arus listrik dan pertukaran elektron. Biasanya ditemukan pada pengelasan busur seperti SMAW, GTAW, SAW.
- b. Energi Kimia : Merupakan pengelasan yang panasnya bersumber dari reaksi kimia yang bersifat eksotermik (menghasilkan panas). Contohnya antara lain adalah las termit dan las eksplosif (EXW)
- c. Energi Mekanik : Merupakan pengelasan yang memanfaatkan energi mekanik dan menghasilkan panas dari adanya resistensi gesek (*friction resistance*). Contohnya adalah pengelasan putar (*friction stir welding*)

2.3 Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW melebur dan menyatukan material melalui pemanasan menggunakan suatu busur listrik yang tercipta di antara komponen logam dengan elektroda berbentuk seperti *x*, pembungkus elektroda sendiri memiliki banyak fungsi, antara lain (Restu, 2016):

- a. Sebagai penstabil busur listrik.
- b. Sebagai penghasil gas yang melindungi lasan dari kontaminasi udara.

- c. Sebagai penambah unsur paduan pada lasan.
- d. Sebagai penghasil *slag* yang melindungi logam lasan yang masih panas dari kontaminasi dan oksidasi.
- e. Memfasilitasi pengelasan dengan posisi *overhead*.
- f. Memurnikan deposit lasan secara metalurgi.
- g. Mengurangi *spatter* (percikan) logam pengisi selama pengelasan
- h. Meningkatkan efisiensi deposisi.
- i. Mempengaruhi bentuk dan penetrasi lasan.
- j. Mengurangi laju pendinginan lasan.
- k. Meningkatkan laju deposisi melalui penambahan serbuk logam dalam lapisan pembungkus.

Dalam prosesnya, SMAW menggunakan sebuah fluks atau pasir pelindung. Fluks terdiri dari komposisi bahan-bahan tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan ke dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Proses pemindahan logam sangat dipengaruhi dari sifat-sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus, sedangkan proses pemindahan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi bahan pembungkus elektroda fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan terjadi, fluks yang digunakan sebagai bahan pembungkus elektroda mencair dan terapung pada cairan kawah las lalu membeku menutupi deposit las menjadi terak las atau yang disebut

slag. *Slag* inilah yang akan melindungi hasil lasan yang baru membeku agar tidak terpengaruh oleh udara luar (oksidasi). Pada saat itu juga bahan fluks yang terbakar berubah menjadi gas yang berfungsi sebagai bahan pelindung dari udara luar terhadap oksidasi dan juga sebagai pemantap busur (Restu, 2016).

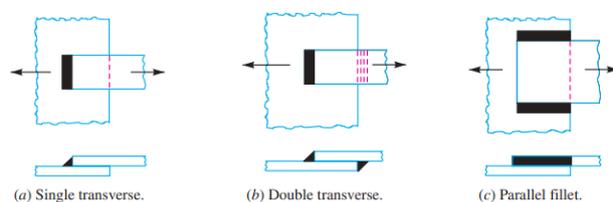
2.3.1 Jenis Sambungan (*Welded Joint*)

Dalam mengimplementasikan pengelasan, dibutuhkan sebuah sambungan yang mengandung *filler metal* ataupun *base metal* yang sudah dilelehkan. Terdapat beberapa jenis sambungan yang biasa digunakan pada pengelasan berdasarkan kebutuhan dan aplikasinya. Jenis-jenis sambungan tersebut antara lain adalah sebagai berikut (Khurmi, 2005):

a. *Lap Joint*

Lap joint atau disebut *fillet joint* didapatkan dengan cara menumpuk antara dua pelat dan dilanjutkan dengan mengelas bagian sampingnya. Bentuk *cross-section* dari sambungan ini dapat diperkirakan berbentuk triangular dengan kemungkinan berbentuk *single transverse*, *double transverse*, dan *parallel*.

Gambar 2.2 menunjukkan bentuk sambungan *lap joint*.

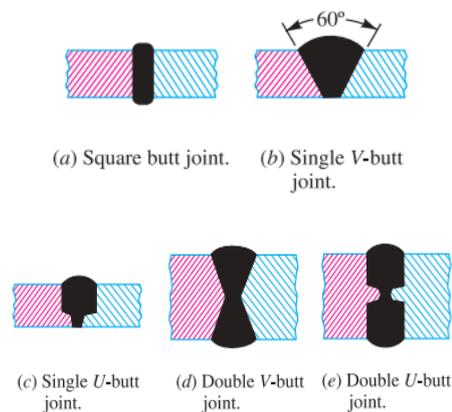


Gambar 2.2 Bentuk Sambungan *Lap Joint*

b. *Butt Joint*

Sambungan *butt* didapatkan dengan meletakkan dua sudut pelat sehingga bertemu satu sama lain. Pada sambungan ini,

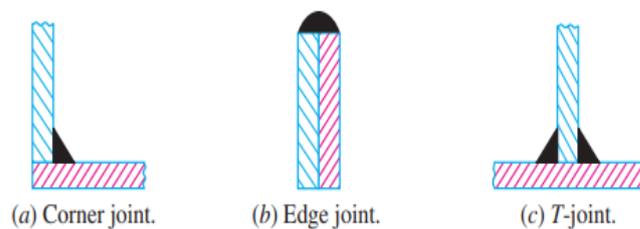
sambungan sudut pelat tidak dibutuhkan untuk *beveling* jika ketebalan dari pelat kurang dari 5 mm. Selain itu, ketebalan pelat dalam 5 mm hingga 37,5 mm dibutuhkan *beveling* menjadi U atau *V-groove* pada keduanya. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk sambungan *lap joint*.



Gambar 2.3 Bentuk Sambungan *Butt Joint*

c. Sambungan Jenis Lain

Terdapat beberapa jenis sambungan yang memanfaatkan sudut dari material untuk disambungkan. Hal ini dikenal sebagai *corner joint*. Terdapat beberapa jenis *corner joint* yang digunakan dalam dunia pengelasan, antara lain adalah *Corner Joint*, *Edge Joint*, dan *T-Joint*. Gambar 2.4 menunjukkan bentuk sambungan sudut pengelasan.



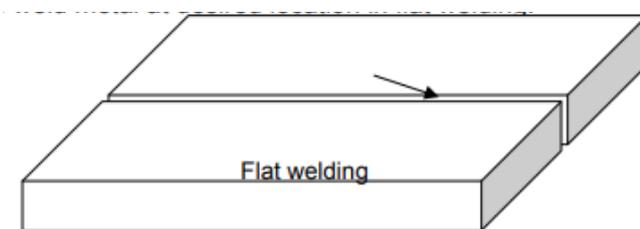
Gambar 2.4 Bentuk Sambungan Sudut Pengelasan

2.4 Posisi Pengelasan

Dalam melakukan pengelasan, didapatkan beberapa posisi yang biasa *welder* gunakan. Posisi ini ditinjau berdasarkan kondisi dari *base metal* yang akan disambungkan. Beberapa posisi pengelasan ini adalah sebagai berikut:

a. Flat Welding

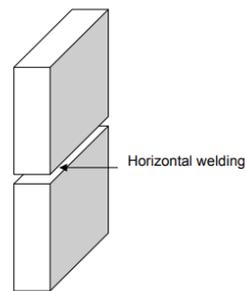
Pada posisi ini, pelat yang akan disambungkan diletakkan pada bidang datar dan deposisi pengelasan pun terjadi pada bidang yang datar. Pengelasan jenis ini merupakan pengelasan yang paling banyak digunakan dikarenakan nyaman dan paling efisien. Pemilihan parameter pengelasan juga tidak terlalu krusial untuk menempatkan *weld metal* pada lokasi yang diinginkan. Gambar 2.5 menunjukkan posisi pengelasan *flat welding*.



Gambar 2.5 Posisi *Flat Welding*

b. Horizontal Welding

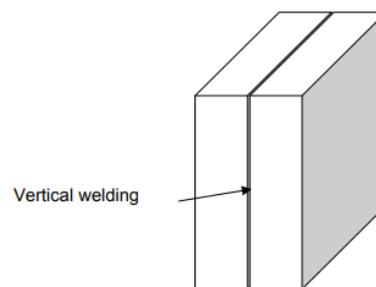
Pada pengelasan horizontal. Pelat yang akan dilas diletakkan pada bidang tegak, dan pengelasan dilakukan secara datar *horizontal*. Teknik ini dianggap lebih sulit daripada *flat welding* dikarenakan *welding parameter* dalam posisi ini sangat krusial dan harus diperhatikan secara seksama. Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan posisi pengelasan *horizontal welding*.



Gambar 2.6 Posisi *Horizontal Welding*

c. *Vertical Welding*

Pada pengelasan vertikal, pelat yang akan dilas diletakkan pada bidang tegak lurus dan pengelasan dilakukan secara vertikal (dari atas ke bawah atau sebaliknya). Viskositas dan tegangan permukaan dari *molten metal* yang ditentukan berdasarkan komposisi dari *weld metal* dan temperatur peleburan sangat dominan dalam menjadi kunci turunnya *molten metal* akibat intervensi dari gravitasi. Gambar 2.7 menunjukkan posisi pengelasan *vertical welding*.

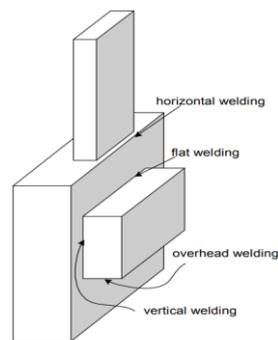


Gambar 2.7 Posisi *Vertical Welding*

d. *Overhead Welding*

Pada pengelasan *overhead*, *weld metal* didepositkan dari posisi rendah ke posisi tinggi. Lelehan logam dipindahkan dari elektroda menuju ke *base metal* dengan ketelitian yang tinggi dan kesulitan yang tinggi pula.

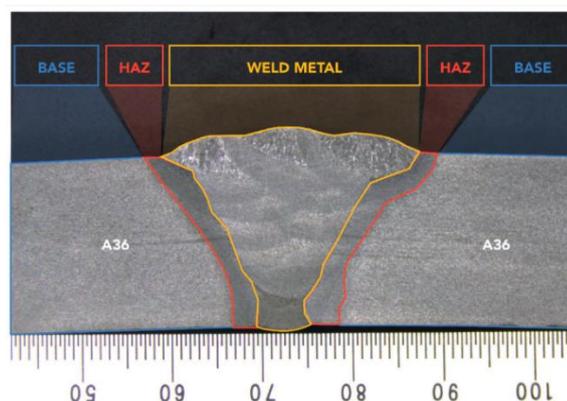
Masalah yang dihadapi dalam posisi ini sama dengan posisi *vertical welding*, namun dengan intensitas yang lebih tinggi. Gambar 2.8 menunjukkan skematik pengelasan dengan berbagai posisi pengelasan.



Gambar 2.8 Skema Pengelasan

2.5 Pengelasan Baja ASTM A36

Pelat ASTM A36 dikenal mempunyai *weldability* yang tinggi dengan metode pengelasan SMAW dan diketahui salah satu variabel penting pengelasannya adalah kuat arus. Untuk mengurangi kemungkinan adanya cacat induksi yang terjebak pada saat proses pengelasan dan *cracking* maka dilakukan *pre-heat* terlebih dahulu (Preedawiphat et al., 2020). Gambar 2.9 menunjukkan tiga zona utama yang dapat diamati pada penampang las pelat A36. Tiga zona tersebut adalah *zona base*, zona HAZ dan *zona weld metal*.



Gambar 2.9 Daerah Pengelasan Baja ASTM A36 (Preedawiphat et al., 2020)

Metode yang digunakan untuk menguji mampu las adalah metode *Controlled Thermal Severity (CTS) Test*. Mampu las diketahui dengan mengamati adanya retak setelah proses pengelasan, besarnya kecembungan (*convexity*), jumlah dan besarnya retak yang terjadi serta nilai kekerasan yang dihasilkan pada logam las dan HAZ (Rusnaldy & Maulana, 2017). WPS (*Welding Procedure Specifications*) dipersiapkan sebagai panduan tertulis yang berisi prosedur pengelasan yang akan dilakukan sehingga dihasilkan hasil lasan yang sesuai dengan yang diinginkan. Pembuatan WPS mengacu pada Standard AWS D1.1. tentang prosedur pengelasan baja (Azdkar et al., 2019).

2.6 Elektroda SMAW

Elektroda atau disebut sebagai kawat las merupakan sebuah benda yang digunakan dalam pengelasan untuk menjadi sumber dari nyala listrik. Nyala listrik ini nantinya akan dikonversi menjadi energi panas yang dapat melelehkan logam. Busur nyala ini akan timbul apabila elektroda bersentuhan dengan logam induk. Pada pengelasan SMAW, elektroda yang digunakan adalah elektroda berselaput. Elektroda berselaput sendiri merupakan bahan kawat yang dilapisi fluks dari bahan kimia tertentu yang disesuaikan dengan jenis pengelasan. Elektroda ini termasuk ke dalam *consumable electrode* dikarenakan akan tereduksi seiring dengan penggunaannya (Weman, 2012).

Dalam aplikasinya, elektroda berselaput terdiri dalam dua bagian yang masing-masing memiliki tujuan tersendiri. Bagian inti elektroda berfungsi sebagai penghantar listrik dan sebagai bahan tambah (*filler metal*). Bahan elektroda ini terbuat dari logam *ferro* dan *non-ferro*, seperti aluminium, baja karbon, baja

paduan, kuningan, dan lain-lain. Sementara untuk bagian salutan berfungsi untuk memberikan gas pelindung pada logam yang dilas. Pelindung ini merupakan reaksi pembakaran dari fluks sehingga melindungi logam dari kontaminasi udara pada waktu logam dalam keadaan cair. Setelah pengelasan selesai dilakukan, akan terbentuk lapisan terak (*slag*) yang berfungsi untuk melindungi logam pada saat pendinginan dari oksidasi udara, mencegah pendinginan agar tidak terlalu cepat, dan memudahkan stabilitas busur (Wirjosumarto, 2000).

Pada elektroda jenis *stick* pada jenis pengelasan SMAW mengandung beberapa unsur fluks dengan kandungan TiO dan MnO. Titanium dioksida merupakan suatu oksida logam yang jika digunakan sebagai fluks tambahan pada permukaan elektroda dapat berfungsi sebagai penghasil slag yang baik. *Slag* yang dihasilkan oleh fluks ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fluks yang mengandung TiO₂ juga berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan (Affi & Gunawarman, 2007). Selain itu, peningkatan kandungan TiO₂ dalam fluks pengelasan dapat meningkatkan persentase *ferrite acicular*, yang memainkan peran penting dalam pengelasan SMAW. Penambahan unsur TiO₂ dapat mengurangi reaksi oksidasi atau penguapan pada pengelasan sehingga distribusi massa *slag* paduan utama seperti Fe, Cr, Ni dan Mn terdeposisi secara sempurna (Rajeswari et al., 2020). Fungsi utama dari fluks MnO adalah penghasil *slag* yang baik, lapisan slag dari fluks MnO melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. *Weld bead* dari fluks MnO juga halus sehingga

kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks MnO juga berperan sebagai deoksidator yang baik. Selain itu fluks MnO memiliki karakteristik sebagai elemen penambah paduan logam lasan (Affi & Gunawarman, 2007). Berdasarkan perhitungan *Basicity Index* (BI) kandungan 1% atom Mn untuk setiap persen atom TiO (MnOTiO_2) dapat mendeposisi atom lainnya dengan cara perhitungan setiap berat atom oksida dikalikan dengan 100% (Allen, 1995).

2.6.1 Fluks Elektroda E-7016

Masing-masing negara industri kawat las listrik maju menyusun simbol-simbol standar mereka masing-masing, dalam hal ini untuk keuntungan mereka sendiri, sehingga jumlah dan jenis simbol tersebut menjadi sangat banyak. Namun demikian dengan persetujuan diantara mereka, terdapat kesamaan-kesamaan ataupun kemiripan dalam sifat mekanis maupun susunan kimianya, sehingga dapat disusun suatu daftar konversi guna alternatif pemakaian seandainya suatu pihak /pemilik menghendaki jenis elektroda buatan suatu negara tertentu. Modul ini disusun berdasarkan cara-cara dan metode yang berorientasi kepada AWS (*American Welding Society*), sehingga simbol-simbol yang dipakai disini berdasarkan standar AWS tersebut. Adapun daftar konversi AWS dengan Standar Indonesia dan standar-standar lainnya akan disusun dalam terbitan tersendiri. Biasanya standar pengelasan seperti AWS tidak merinci komposisi detail dari fluks dan proses detail untuk pembuatan logam isian (*filler metal*). Elektroda hanya disyaratkan untuk memenuhi sifat mekanik minimum dan parameter pengelasan yang bisa digunakan. Seharusnya jika

elektroda diproduksi sesuai dengan standard akan memiliki kualitas produk yang sama walaupun dibuat dengan berbagai merk (Affi & Gunawarman, 2007).

Salah satu contoh elektroda adalah E-7016 yang merupakan bahan las jenis hidrogen rendah. Elektroda ini mengandung sejumlah gas hidrogen beberapa saat setelah dilakukan pengelasan dan bahan utama dari elektroda ini adalah kapur dan fluorat. Oleh karena itu, elektroda ini biasa disebut juga elektroda *low hydrogen* atau jenis kapur sehingga jenis ini perlu adanya preheat sebelum dilakukan pengelasan. Elektroda E-7016 sendiri memiliki makna (E) sebagai *electrode*, (70) menunjukkan kekuatannya tarik dalam Ksi, (1) menunjukkan posisi pengelasan 1 (dapat digunakan semua posisi), dan (5) menunjukkan jenis fluks yang digunakan yaitu *low hydrogen potassium*. Untuk komposisi dari elektroda ini sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.2 Komposisi Elektroda E-7016 (AWS A5.1, 2012)

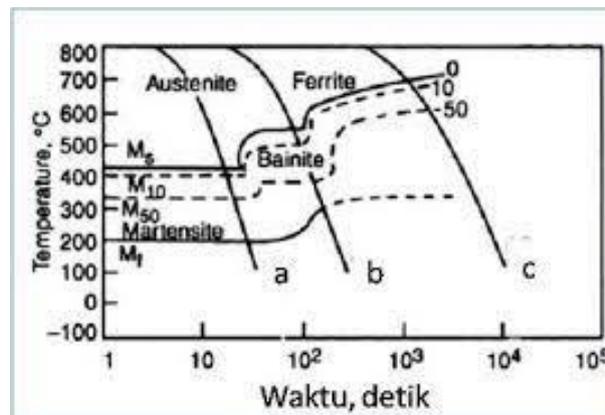
<i>Composition</i>	<i>Fraction (%)</i>
C	0,15
Mn	1,60
Si	0,75
S	0,035
P	0,035
Cr	0,2
Ni	0,3
Mo	0,3
V	0,08

2.6.2 Fluks Elektroda E480-16

Elektroda E480-16 adalah jenis elektroda lokal dengan bahan dasar stainless steel yang memiliki panjang kawat las 2,5 mm. Jenis elektroda ini dikenal memiliki karakteristik tahan korosi dikarenakan berasal dari bahan stainless steel. Jenis elektroda ini dapat digunakan pada suhu las dtandar pada proses pengelasan. Elektroda ini memiliki komposisi C sebesar 0,08%, Mn sebesar 0,37%. Si sebesar 0,14%, S sebesar 0,18%, P sebesar 0,022%, Ni sebesar 0,035%, Mo sebesar 0,005% dan V sebesar 0,004%. Jenis elektroda ini dikenal baik digunakan pada struktur baja karbon rendah pada aplikasinya.

2.7 Struktur Mikro

Pada setiap pengelasan pasti menghasilkan pemanasan oleh karena itu struktur mikro pada *base metal* sebelum pengelasan dan sesudah dilakukannya pengelasan pasti berubah. Pembentukan fasa terhadap laju pendinginan dianalisis oleh diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Gambar 2.10 menunjukkan diagram CCT Laju Pendinginan Temperatur terhadap Waktu



Gambar 2.10 Diagram CTT (Rusjdi, et al., 2016)

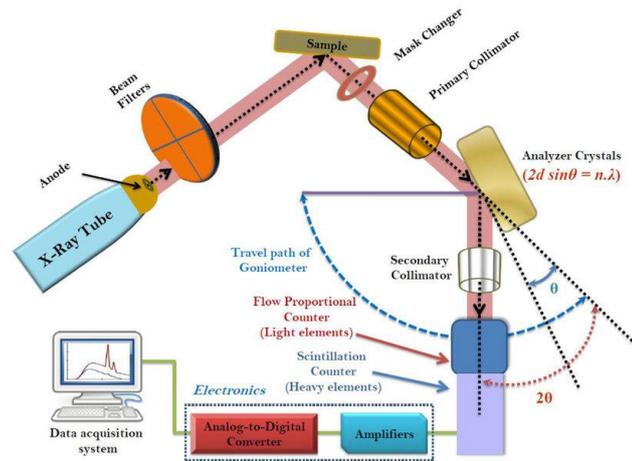
Laju pendinginan yang dilakukan setelah pengelasan memiliki waktu yang

cukup lama. Itu dikarenakan pertumbuhan butir yang dihasilkan dalam laju yang lama dapat mencegah adanya keretakan pada *weld* metal. Perubahan struktur mikro ini berada empat titik yaitu base metal, HAZ (*Heat Affected Zone*), *fusion line* dan *weld* metal. Hal ini diakibatkan oleh adanya laju pendinginan setelah dilakukan pengelasan sehingga akan mempengaruhi terbentuknya fasa. Oleh karena itu, setiap arus yang digunakan pada saat pengelasan dapat mempengaruhi transformasi perubahan fasa, itu dikarenakan semakin tinggi arus yang digunakan maka suhu yang dihasilkan akan semakin besar juga sehingga fasa yang terbentuk akan berbeda. Transformasi fasa yang dihasilkan pada arus yang besar adalah *bainite* dan fasa yang dihasilkan pada arus yang kecil adalah *ferrite* dan *perlite* (Santoso, et al., 2015).

2.8 Pengujian X-Ray Fluorescence

Pengujian *x-ray fluorescence* (XRF) adalah teknik pengujian yang dilakukan untuk mengetahui informasi mengenai analisis unsur kimia persentasenya dalam suatu material. Penggunaan metode *X-Ray Fluorescence* dalam penelitian berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (*part per million*). Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah, multielemental (dapat mendeteksi berbagai macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif. Disisi lain, penggunaan metode XRF juga memiliki kekurangan yakni tidak dapat mendeteksi unsur karbon dalam logam (Mapossa, 2018). Analisa XRF dilakukan untuk mempelajari komposisi unsur bahan segala material termasuk bahan biomaterial, analisa ini memiliki akurasi, presisi, sensitivitas dan rentang linear yang dinamis.

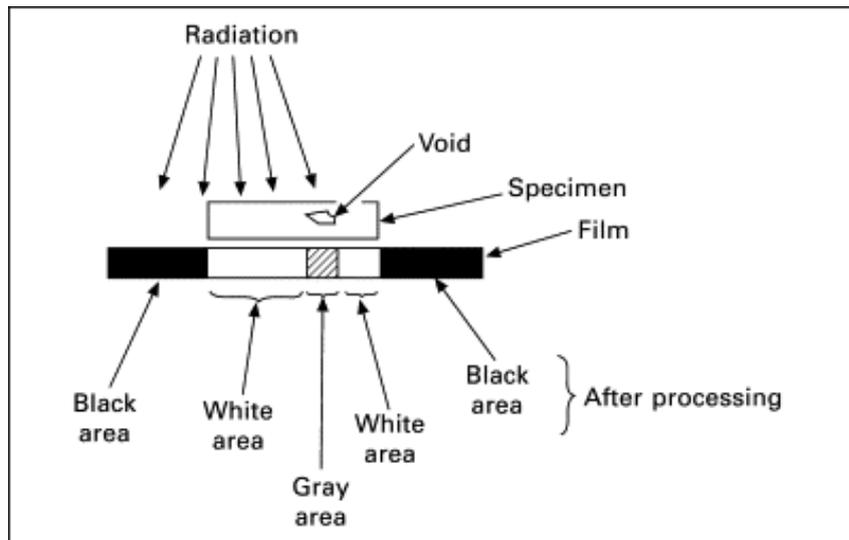
Pengujian XRF mampu mendeteksi persebaran elemen dengan penyebaran yang luas dimana fraksinya dapat diukur dari fraksi berat *composite* sama dengan murni (Singh et al., 2020). Gambar 2.11 menunjukkan skematik XRF pada sampel (Singh et al., 2020).



Gambar 2.11 Skematik Pengujian XRF (Singh et al., 2020)

2.9 Pengujian Radiografi (RT)

Pengujian radiografi, juga dikenal sebagai *Radiographic Testing* (RT) dalam metode *Non-Destructive Testing* (NDT), adalah sebuah teknik yang menggunakan sinar-X atau sinar gamma untuk memeriksa struktur internal dari material atau objek. Pengujian radiografi atau dikenal sebagai *radiographic testing* (RT) merupakan salah satu jenis pengujian tidak merusak yang digunakan untuk mendeteksi cacat pada material. Pada dasarnya, pengujian RT digunakan sebagai inspeksi dari cacat tak kasat mata pada material dengan menggunakan kemampuan dari gelombang radiasi elektromagnetik (*high energy photon*) untuk menembus beberapa jenis material. Intensitas dari radiasi yang menembus material akan ditangkap oleh *radiation sensitive film* (*film radiography*). Gambar 2.12 menunjukkan skematik pengujian radiografi.

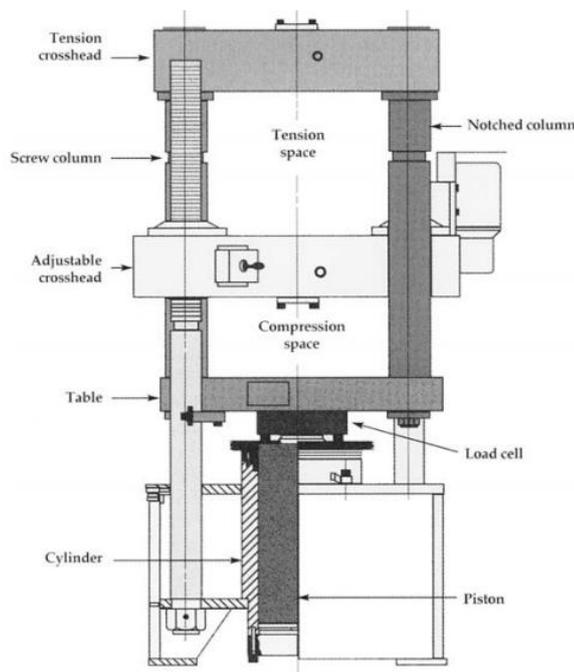


Gambar 2.12 Skema Pengujian Radiografi

Gambar 2.12 menunjukkan pengujian radiografi dimana bagian yang akan diinspeksi diletakkan diantara sumber radiasi dan *radiation sensitive film*. Berdasarkan Gambar 2.12 proses pengujian radiografi dalam pengelasan meliputi, pertama proses pembentukan isotop radioaktif sehingga menghasilkan sinar gamma atau sinar-X. Kedua, sinar radiasi diteruskan melalui *void* pada hasil las ke film fotografi. Ketiga, film yang diproses kemudian akan mendeteksi dan mengidentifikasi adanya diskontinuitas pada hasil las.

2.10 Pengujian Tarik (UT)

Pengujian tarik atau *tensile test* merupakan sebuah pengujian mekanik yang bersifat merusak (*destructive testing*) yang dilakukan untuk mengetahui tegangan dan regangan dari suatu spesimen atau sampel material. Dari tegangan dan regangan yang didapat, maka akan dikaitkan dengan kekuatan material (*material strength*) sehingga bentuk komparasi kepada material baru dapat dilakukan. Gambar 2.13 menunjukkan skematik bagian-bagian dari pengujian tarik yang dilakukan.



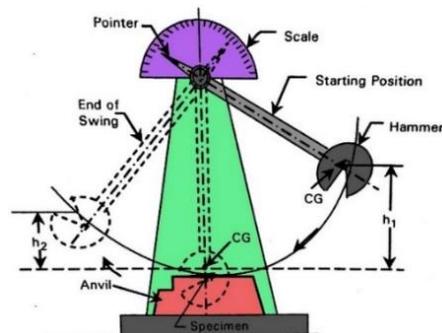
Gambar 2.13 Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*)

Gambar 2.13 menunjukkan bagian-bagian dari mesin uji tarik. Dalam melakukan pengujian tarik, dibutuhkan spesimen dengan ukuran tertentu yang menjadi standar dalam pengujian, Ukuran spesimen ini dapat ditinjau kepada SNI 07-0049-1987 yang mengatur perihal dimensi dari spesimen. Dalam mekanismenya, pengujian tarik dilakukan dengan memberikan gaya aksial kepada material melalui satu atau dua ujung material. Pada beberapa mesin, satu capitan atau *clamp* bersifat statis sebagai *support*, dan satunya lagi merupakan *clamp* dinamis yang bergerak searah sumbu Y. Sementara itu, pada mesin lainnya, kedua *clamp* bersifat dinamis dan memberikan gaya aksial ke arah sumbu Y dan -Y (Moalli, 2001).

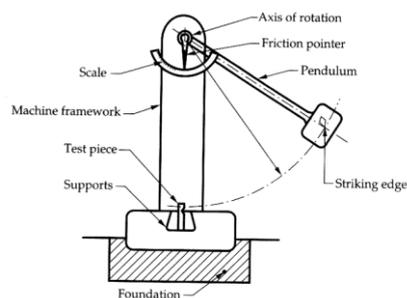
2.10 Pengujian Impak (UI)

Dalam menguji sifat mekanik dari sebuah material, selain digunakan pengujian tarik untuk mengukur kekuatan material, maka digunakan pula pengujian

impak untuk menentukan sifat mekanik lainnya. Pengujian impact atau dikenal sebagai uji impact merupakan sebuah metode pengujian merusak yang digunakan untuk mengetahui ketangguhan (*toughness*) dari sebuah material. Pengujian ini menggunakan prinsip *rapid loading* dengan menggunakan prinsip momentum dan impuls kepada material. Ketangguhan sendiri merupakan salah satu sifat mekanik dari material yang merepresentasikan berapa gaya yang dapat diserap oleh material hingga material mengalami kegagalan. Atau dapat dikatakan tujuan dari uji impact sendiri adalah untuk mengetahui seberapa tangguh material dalam menahan gaya yang datang secara tiba-tiba (laju kecepatan pembebanan yang tinggi) (Caballero, 2022). Dari bentuk patahan yang terjadi, dapat ditentukan perihal sifat material yang getas ataupun ulet, serta nilai ketangguhannya. Mesin uji ini nantinya akan memberikan informasi tentang berapa energi yang diserap hingga spesimen patah. Gambar 2.14 dan 2.15 merupakan pengujian impact dengan metode yang berbeda.



Gambar 2.14 Uji Impact Charpy



Gambar 2.15 Uji Impact Izod

Uji impak sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu Uji Impak *Charpy* dan Uji Impak *Izod*. Masing-masing pengujian memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode pengujian *charpy* sendiri berasal dari Amerika Serikat dan metode pengujian *Izod* berasal dari Inggris. Metode Uji Impak *Charpy* dan Uji Impak *Izod* dibedakan berdasarkan penempatan sampel uji pada saat pengujian dan arah pembebanan pada pendulumnya. Untuk sampel uji dengan ukuran kecil biasanya digunakan metode *charpy* dan dengan ukuran besar dapat menggunakan metode *izod*. Untuk komparasi perbandingan dari keduanya, dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini (Wardani, 2019):

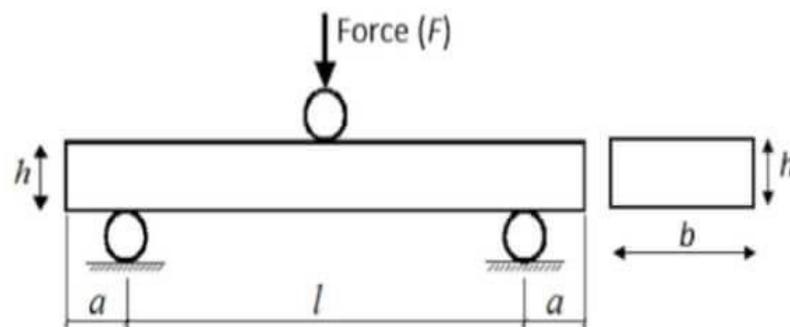
Tabel 2.4 Komparasi Uji Impak Charpy vs Izod

Material Sampel	Charpy	Izod
	Logam	Polimer & Logam
Tipe <i>Notch</i>	U-notch & V-notch	V-notch
Posisi Spesimen	Horizontal	Vertikal
Posisi Impak	Ditengah Sampel	<i>Upper Tip</i> dari Sampel
Standar dan Spesifikasi	SNI 07-0049-1987	SNI 07-0049-1987
Dimensi Spesimen	55 x 10 x 2.5 mm	12.7 x 3.2 mm

2.11 Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Pengujian tekuk atau dikenal sebagai *bending test* merupakan salah satu dari pengujian merusak (*destructive test*) yang digunakan untuk mengetahui *yield stress* dan *tensile strength* dari suatu material. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan alat *universal testing machine* yang digunakan untuk beberapa pengujian, salah

satunya adalah uji tarik. Kekuatan *bending* sendiri didefinisikan sebagai kemampuan material untuk mempertahankan deformasi di bawah tekanan yang merepresentasikan tekanan tertinggi yang dialami oleh material pada saat *moment of rupture* dari material tersebut. Ketika material mengalami penekukan, material mengalami rentang tekanan sepanjang kedalamannya. Pada sudut dari *concave face*, tekanan akan menjadi nilai kompresi maksimum. Sementara pada *convex face*, tekanan akan menjadi nilai tensil maksimum. Kekuatan flekstural (kekuatan *bending*) akan sama dengan kekuatan tensil jika material merupakan material yang homogen (Mahieux, 2006). Gambar 2.16 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk (*bending*).



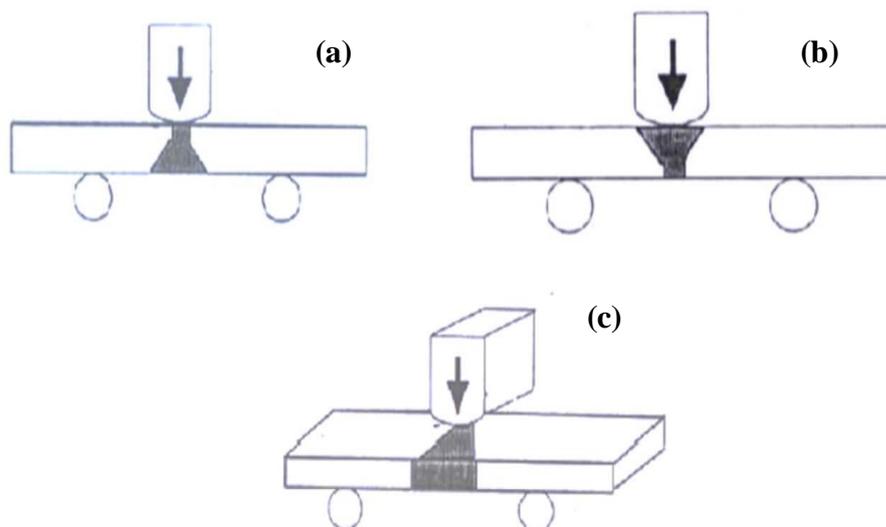
Gambar 2.16 Skema Pengujian Tekuk

Dalam mekanismenya, proses pembebanan dilakukan dengan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan sesuai standar untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Setelah itu, bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan (DeTech, 2020). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada weld metal, dengan mempersiapkan sampel

seusai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Hasil dari pengujian ini berupa keretakan pada daerah yang diuji yang dimana menandakan adanya pengaruh komposisi ataupun cacat yang terdapat pada daerah *weld metal*. Maka pada pengujian *bending* akan didapatkan data berupa sampel tersebut akan terjadi retak atau tidak. Jika sampel tidak terjadi retak maka sampel tersebut masuk ke dalam *accepted criteria*. Jika terjadi retak maka masuk ke dalam *no accepted criteria*.

2.11.1 Pengujian Tekuk Melintang

Pengujian tekuk melintang atau dikenal dengan *transversal bending* merupakan pengujian tekuk yang dilakukan dengan posisi spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Mengacu kepada arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian dibagi menjadi tiga yaitu *face bend* (a), *root bend* (b), dan *side bend* (c). Gambar 2.17 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk jenis *transversal*.

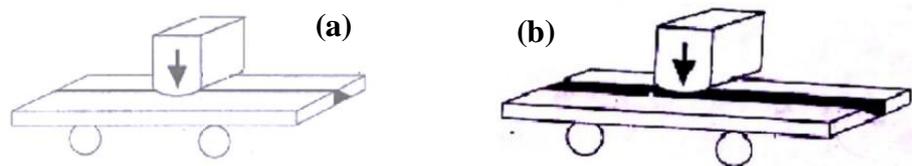


Gambar 2.17 Jenis *Transversal Bending*

Gambar 2.17 menunjukkan skematik pengujian *bending transversal*. Pengujian dengan metode *transversal* mengacu pada pembengkokan suatu material dalam arah tegak lurus terhadap butiran atau sumbu panjang material. Tegangan geser transversal gaya yang dihasilkan sering disebut sebagai pergeseran transversal, dan merupakan faktor penting dalam desain dan analisis sampel uji dengan bentuk balok. Dalam konteks pengelasan, tekuk melintang juga relevan dalam pengujian tekukan, dimana uji tekuk samping melintang digunakan untuk mengetahui kurangnya fusi dan cacat lainnya pada sambungan las.

2.11.2 Pengujian Tekuk Memanjang

Pengujian tekuk memanjang atau dikenal sebagai *longitudinal bending* adalah pengujian tekuk dimana spesimen yang akan diamati diletakan lurus dan pembebanan diambil searah dengan arah pengelasan. Terdapat dua jenis pengujian dari *longitudinal bending*, yaitu *face bend* (a), dan *root bend* (b). Gambar 2.18 menunjukkan skematik dari pengujian tekuk jenis *longitudinal*.



Gambar 2.18 Jenis *Longitudinal Bending*

Pengujian pada metode *longitudinal* mengacu pada deformasi suatu material atau struktur akibat gaya yang diterapkan sepanjang material atau struktur tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan tegangan memanjang, yang

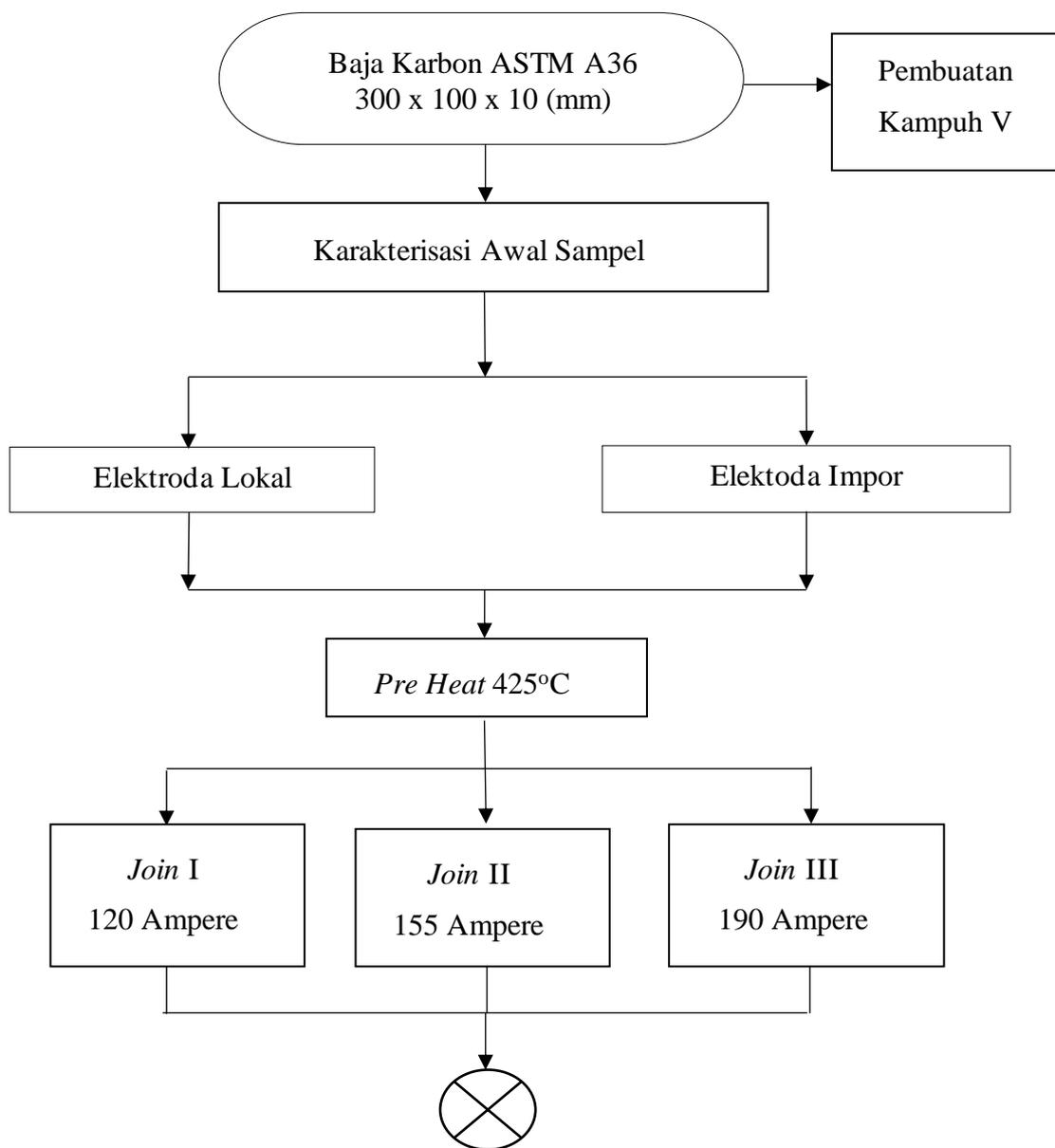
dapat menyebabkan pemanjangan atau pemendekan material atau struktur. Metode *bending longitudinal* dapat menimbulkan tegangan elastis, yang timbul dari momen elastis dan menghasilkan gradien tegangan tekan.

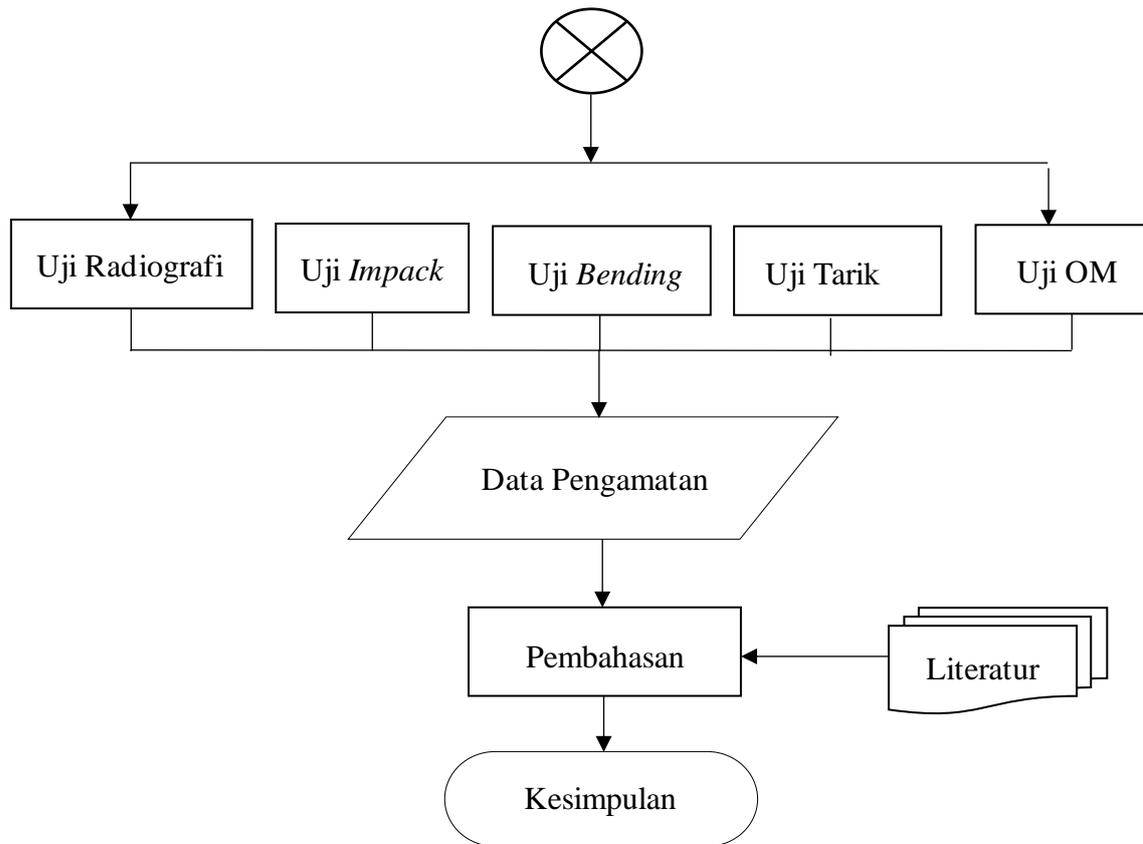
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan prosedur percobaan penelitian yang dapat dijelaskan melalui diagram alir penelitian pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Mesin Las SMAW
2. Alat Uji *Bending*
3. Alat Uji Impak
4. Alat Uji *Optical Microscope*
5. Alat Uji Tarik
6. Alat XRF
7. Tang Ampere
8. Mesin Gerinda
9. Palu
10. Mesin Gas *Cutting*

11. *Welding Gauge*
12. Meja Las
13. Sarung Tangan
14. *Form Run Sheet*
15. Kertas Amplas 200, 400, 600, 700, 800, 1000 dan 1200#

3.1.2 Bahan yang Digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Pelat Baja Karbon ASTM A36
2. Elektroda Lokal
3. Elektroda Impor
4. Larutan Nital 2%
5. Pasta Alumina

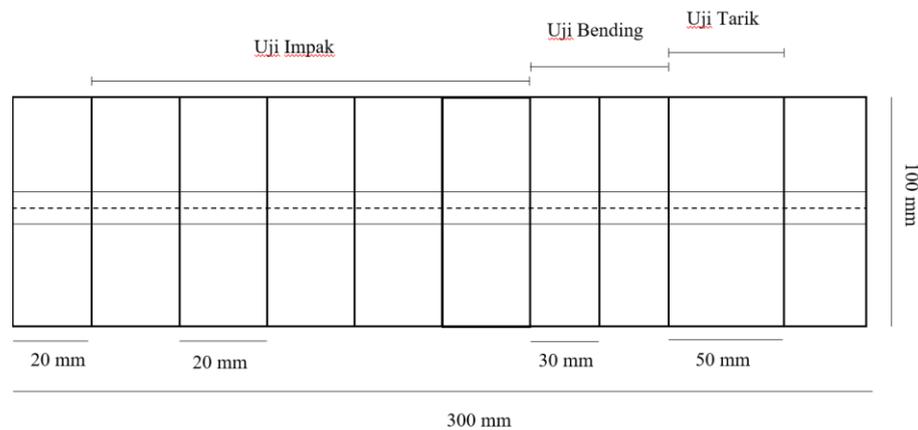
3.3 Prosedur Penelitian

Adapun beberapa prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

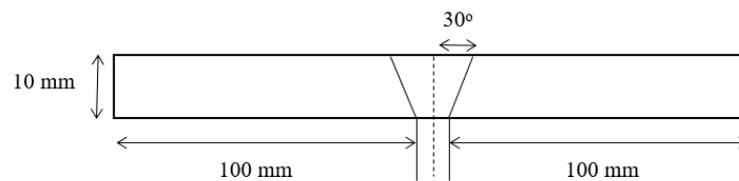
1. Pembuatan Spesimen Uji

Tahapan awal untuk memulai penelitian ini adalah pembuatan sampel yang terdiri dari 6 pelat ASTM A36 dengan ukuran masing-masing sebesar 300 x 100 x 10 (mm) dan sudut kampuhnya sebesar 60° dengan lebar *root gap* 3 mm. 6 Pelat tersebut dipotong sama panjang dengan ukuran 37,5 mm. Pemotongan tersebut dilakukan untuk memisahkan setiap sampel yang ingin dikarakterisasi dan menyimpan potongan cadangan pada setiap part sampel karakterisasi. Karakterisasi tersebut terdiri atas uji radiografi, uji dampak, uji *bending*, uji tarik dan uji OM. Total sampel tersebut berjumlah 10 potong dengan ukuran yang sama

besar. Gambar 3.2 menunjukkan skematik pemotongan sampel spesimen uji.



Gambar 3.2 Sketsa Pemotongan Sampel



Gambar 3.3 Sudut dan Ukuran Benda Uji Las

2. Karakterisasi Awal

Pada tahap selanjutnya yaitu melakukan karakterisasi awal kepada elektroda yang digunakan untuk mengetahui komposisi yang ada dalam sampel tersebut dengan menggunakan alat uji berupa XRF. XRF yang digunakan yaitu tipe ED-XRF menggunakan Rigaku NexCG (USA) dengan sampel pelat logam. Selain itu karakterisasi awal ini dilakukan pengujian struktur mikro kepada *base metal* untuk mengetahui fasa yang ada didalamnya sebelum pengelasan dan pengujian mekanik berupa uji tarik kepada *base metal* untuk mengetahui kekuatan tarik sebelum dilakukan pengelasan.

3. Pengelasan SMAW

Proses ini diawali dengan menyiapkan alat pengelasan SMAW, lalu menyiapkan 12 pasang spesimen dan elektroda lokal dan impor yang digunakan adalah jenis Taykai dan Kobe *Steel*. Karena elektroda yang digunakan mengandung *low hydrogen* maka sesuai standard AWS A5.1, penyimpanan elektroda yang digunakan harus memiliki suhu 425°C sehingga elektroda ini harus di *pre heat* terlebih dahulu. Kemudian menyiapkan alat lainnya seperti kabel massa, penjepit massa yang akan menjepit meja kerja pengelasan dan pemegang elektroda. Setelah semuanya siap kemudian spesimen di las dengan posisi pengelasan 3G (*up-hill*) dan untuk setiap elektroda yang dibandingkan terdapat 3 pelat yang akan dilas dengan variasi arusnya yaitu 120 A, 155 A dan 190 A sesuai standard AWS A5.1.

4. Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan pengelasan, selain itu pengujian ini dapat menemukan cacat yang ada di dalam pengelasannya. Pengambilan jarak cacat yaitu pada jarak 0-300 mm atau sepanjang bidang las. Hasil cacat yang didapat akan dibandingkan dengan komposisi sampel elektroda yang digunakan. Pada prosesnya, sampel yang sudah dilas akan di tembakkan sinar X lalu disimpan dalam film. Lalu film tersebut akan dicuci supaya dapat dibaca oleh *digital radiographic scanner*. Standard yang digunakan untuk

pengujian ini adalah SNI 07-0049-1987 dengan kriteria porositasnya pada bab 3.1.2.4.

5. Pengujian Uji Impak

Pengujian uji impak dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketangguhan dari material yang diuji dan pada penelitian ini pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketangguhan pada *weld metal* dari masing – masing sampel elektroda yang diuji dengan membandingkan komposisi kimianya. Pada pengujian ini, sampel yang sudah dilas akan dipreparasi sesuai standard SNI 07-0049-1987 lalu dilakukan pemberian secara tiba tiba pada daerah takikan yang ada di *weld metal*. Hasil dari pengujian ini berupa energi yang dihasilkan dari pembebanan tersebut dan klasifikasi patahan yang ada. Metode yang digunakan pada pengujian impak ini adalah metode *charpy* yang dimana specimen uji pada posisi *horizontal* dan arah pembebanannya berlawanan arah dengan arah takikan.

6. Pengujian *Bending*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada *weld metal*, dengan mempreparasi sampel sesuai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Hasil dari pengujian ini berupa terjadinya keretakan atau tidak terjadinya keretakan pada daerah yang diuji yang dimana menandakan adanya pengaruh komposisi ataupun cacat yang terdapat pada daerah *weld metal*.

7. Pengujian Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan bertujuan untuk menarik bahan untuk mengetahui sejauh mana material ini bertambah panjang dengan membandingkan komposisi dari setiap sampel. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Pengujian Uji Tarik ini dilakukan menggunakan alat uji tarik dengan dimensi standard yang sudah ditentukan pada standard SNI 07-0049-1987.

8. Pengamatan OM (*Optical Microscop*)

Pengujian OM ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material dengan perbesaran pada OM ini 10X sampai 500X perbesaran. Pada pengujian ini dilakukan pengecekan tiga titik yaitu daerah fusi, daerah HAZ dan base metalnya untuk mengetahui fasa yang terbentuk setelah dilakukannya pengelasan. Pada cara pengujiannya benda uji diampelas dengan kertas ampelas ukuran 200, 400, 600, 700, 800, 1000 dan 1200# dan secara bertahap. Selanjutnya dilakukan *polishing* dengan memberikan pasta alumina secukupnya. Kemudian dilakukan proses etsa menggunakan larutan nital 3% selama 5 detik yang sudah ditampung dalam wadah kaca. *Standard* yang digunakan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap jenis dan kuantitas dari cacat pengelasan sesuai standar kriteria SNI 07-0049-1987 dengan pengelasan SMAW. Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanik sambungan las dan struktur mikro dengan pengelasan SMAW dengan melakukan pengujian *destructive test* dan *non-destructive test*. Tahapan pertama pada prosedur percobaan adalah pembuatan sampel yang terdiri atas 6 pelat dengan standar ASTM A36, dengan ukuran masing-masing sebesar 300 x 200 x 10 (mm) dan sudut kampuhnya sebesar 60° dengan lebar *root gap* 3 mm. Tahap selanjutnya melakukan karakterisasi XRF yang bertujuan untuk mengetahui komposisi awal dari sampel sebelum dilakukan pengelasan. Tahap selanjutnya yaitu melakukan pengelasan SMAW untuk *Root* dengan posisi pengelasan 3G dengan dua elektroda yang berbeda. Elektroda yang digunakan yaitu jenis lokal dan elektroda impor, dikarenakan dua elektroda tersebut merupakan jenis elektroda *low hydrogen* maka dilakukan proses *pre-heating* pada suhu 425°C. Pada proses pengelasan dengan menggunakan elektroda yang berbeda divariasikan 2 elektroda yaitu jenis elektroda lokal dan impor dengan variasi arusnya yaitu sesuai standar AWS A5.1.

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan selanjutnya dilakukan proses karakterisasi. Proses karakterisasi pertama yaitu radiografi. Radiografi bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan

pengelasan, selain itu pengujian ini dapat menemukan cacat yang ada didalam pengelasannya. Hasil cacat yang didapat pada pengujian radiografi akan dibandingkan dengan komposisi sampel elektroda yang digunakan. Karakterisasi kedua adalah pengujian impak. Pengujian uji impak dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketangguhan dari material yang diuji dan pada penelitian ini pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketangguhan pada *weld metal* dari masing – masing sampel elektroda yang diuji dengan membandingkan komposisi kimianya. Pengujian ketiga adalah pengujian *bending*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada *weld metal*, dengan mempersiapkan sampel sesuai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Pengujian ketiga adalah pengujian tarik. Pengujian uji tarik dilakukan bertujuan untuk menarik bahan untuk mengetahui sejauh mana material ini bertambah panjang dengan membandingkan komposisi dari setiap sampel. Pengujian keempat adalah metalografi atau pengamatan OM (*Optical Microscope*). Pengujian OM ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material dengan perbesaran pada OM ini 10X sampai 1000X perbesaran.

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai komposisi unsur dasar dan karbon sebagai komposisi unsur paduannya. Kandungan karbon pada baja berfungsi sebagai unsur penguat. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0,2%-1,7% berat sesuai dengan gradenya. Pada penelitian ini membahas tentang perbandingan jenis elektroda yaitu elektroda lokal dan impor terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja paduan. Dengan menggunakan metode pengelasan SMAW

dan variasi kuat arus. Keterangan material, *filler* dan posisi pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi Pengelasan

Nama	Jenis/Keterangan
<i>Material specification</i>	ASTM A36
Tebal	10 mm
<i>AWS standar classification</i>	standard AWS A5.1
Kuat arus	120 A, 155 A dan 190 A
Posisi pengelasan	3G (<i>up-hill</i>)

4.1 Hasil Karakterisasi Pengujian X-Ray Fluorescence

Teknologi XRF (*X-Ray Fluorescence*) mendeteksi perubahan tingkat energi tinggi (sinar-X karakteristik, sekitar 10 keV) pada sampel yang dilelehkan. Ketika suatu sinar-X dengan energi yang lebih tinggi (sekitar 30 keV) bertemu dengan permukaan dan menyebabkan berbagai atom pada sampel memancarkan kembali energi tersebut (fluoresensi) dalam panjang gelombang sinar-X yang khas dari struktur elektronik atom tersebut. Proses ini tidak merusak sampel, sehingga dapat digunakan secara berulang. Intensitas sinar-X diambil dan diteruskan ke dalam program komputer untuk mengkoreksi fluks oksida terhadap sensitivitas dan interaksi antar unsur yang berbeda. Hasil akhirnya adalah pengukuran kuantitatif dari berbagai oksida dalam fluks.

Pengamatan fasa dilakukan sebelum proses pengelasan untuk mengidentifikasi komposisi pada dua elektroda yang digunakan. Jenis elektroda

yang digunakan antara lain adalah elektroda lokal dan elektroda impor. Menurut (Gandy, 2007) komposisi kimia dari baja karbon ditentukan oleh spesifikasi untuk setiap jenis atau *grade* material. Secara umum komposisi unsur itu sendiri terdiri atas *carbon* (C), *manganese* (Mn), *silicon* (Si), *sulfur* (S), *phosphorus* (P), *chromium* (Cr), *molybdenum* (Mo), *nickel* (Ni), *vanadium* (Vn), *columbium* (Cm) dan lain-lain. Secara umum elektroda mengandung senyawa-senyawa kimia yang menyusun logam las menjadi unsur untuk menyambung *base metal* pada proses pengelasan. Unsur-unsur tersebut antara lain *carbon* (C), *manganese* (Mn), *phosphorus* (P), *sulfur* (S) dan *silicon* (Si) (Boumerzoug et al., 2010).

Tabel 4.2 Tabel XRF Elektroda Lokal

No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)
1	Na ₂ O	6,3	6	TiO ₂	14,4	11	Cl	0,1
2	MgO	1,0	7	V ₂ O ₅	0,3	12	K ₂ O	0,5
3	Al ₂ O ₃	8,9	8	Cr ₂ O ₃	1,3	13	CaO	9,9
4	SiO ₂	31,6	9	MnO	0,5	14	K ₂ O	0,3
5	P ₂ O ₅	0,3	10	Fe ₂ O ₃	24,6	Total		100

Berdasarkan Tabel 4.2 mengidentifikasi komposisi senyawa yang terkandung dalam elektroda lokal. Komposisi senyawa SiO₂ lebih dominan diantara senyawa lain yaitu sebesar 31,6 %. Silikon oksida termasuk dalam komposisi fluks untuk pengelasan baja karbon dan baja paduan rendah. Aktivitas termodinamika silikon oksida dalam *slag* selama proses pengelasan, dan, akibatnya, proses reduksi silicon dan pembentukan inklusi non-logam dalam sambungan las (Dmitry MishchenkoIgor et al., 2019). Senyawa-senyawa lain seperti Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃

dan Na₂O juga memiliki persentase yang dominan. Senyawa-senyawa tersebut dapat berpengaruh pada hasil slag dan sifat mekanik pada hasil las.

Tabel 4.3 Tabel Senyawa XRF Elektroda Impor

No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)
1	Na ₂ O	1,2	8	MnO	5,0
2	MgO	0,8	9	TiO ₂	6,5
3	Al ₂ O ₃	3,1	10	Fe ₂ O ₃	8,0
4	SiO ₂	22,9	11	V ₂ O ₅	0,1
5	Sc ₂ O ₃	0,9	12	Cl	0,1
6	K ₂ O	3,8	13	ZrO ₂	0,1
7	CaO	47,4	14	ZrO ₂	0,1
Total				100	

Berdasarkan Tabel 4.3 mengidentifikasi komposisi senyawa yang terkandung dalam elektroda impor. Berdasarkan Tabel 4.3 komposisi unsur dan senyawa yang terdapat pada elektroda lokal dan elektroda impor berbeda dimana pada elektroda impor memiliki beberapa unsur dan senyawa yang tidak dimiliki elektroda lokal diantaranya adalah K₂O₃, CaO dan MnO. CaO sendiri menjadi sebuah senyawa dominan pada elektroda impor. Komposisi tertinggi terdapat pada senyawa CaO sebesar 47,4%. Oksida dasar seperti CaO, MgO, Na₂O berperan sebagai pemecah jaringan silika yang mengurangi viskositas, sedangkan oksida asam berperan sebagai pembentuk jaringan yang mengurangi fluiditas *slag*. Kombinasi oksida-oksida ini mempengaruhi sifat fisikokimia dan termofisika seperti densitas, konduktivitas termal, suhu peleburan, koefisien termal, dan

viskositas. Indeks kebasaaan dari fluks pengelasan juga memengaruhi sifat mekanik pengelasan. Ditemukan bahwa dengan peningkatan kebasaaan, inklusi non-logam lebih sedikit dalam pengelasan karena kebasaaan fluks yang tinggi mengurangi tingkat oksigen logam pengelasan dan meningkatkan ketangguhan. Hal ini juga mengurangi penyerapan hidrogen selama pengelasan. Fluks dasar yang mengandung CaO memiliki kemampuan penghilangan belerang yang lebih tinggi, dan terlihat bahwa dalam komposisi fluks, jika kandungan CaO digantikan dengan CaF₂, membantu mengurangi kandungan oksigen dalam pengelasan (Mahajan & Chhibber, 2019). Komposisi pada logam las dapat mempengaruhi sifat mekanik, komposisi ini dapat dihitung dengan persamaan *basicity index*. *Basicity index* dapat menunjukkan apakah logam tersebut bersifat asam dan pengaruhnya. Berikut merupakan persamaan umum pada *basicity index* (Datta & Parekh, 1989).

$$\text{Basicity index} = \frac{\text{sum of basic oxides}}{\text{sum of acidic oxides}}$$

Persamaan *basicity index* diturunkan dari teori oksida molekuler yang tersosiasi. Jika tidak ada oksida yang terdisosiasi maka persamaan ini tidak dapat digunakan. Industri pengelasan mengadaptasi persamaan tersebut sebagai standarisasi dari ukuran keasaman dan kebasaaan fluks. Pada hasil karakterisasi XRF terdapat beberapa unsur yang komposisinya dominan antara lain SiO, CaO, TiO₂ dan Fe₂O₃. Komposisi tersebut mempunyai sifat asam dan basa, adanya sifat asam dan basa mempengaruhi keseimbangan pada suatu material. SiO bersifat asam, CaO bersifat basa, TiO₂ bersifat asam kuat dan Fe₂O₃ atau besi (III) tidak bersifat asam maupun basa atau bias disebut netral. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat

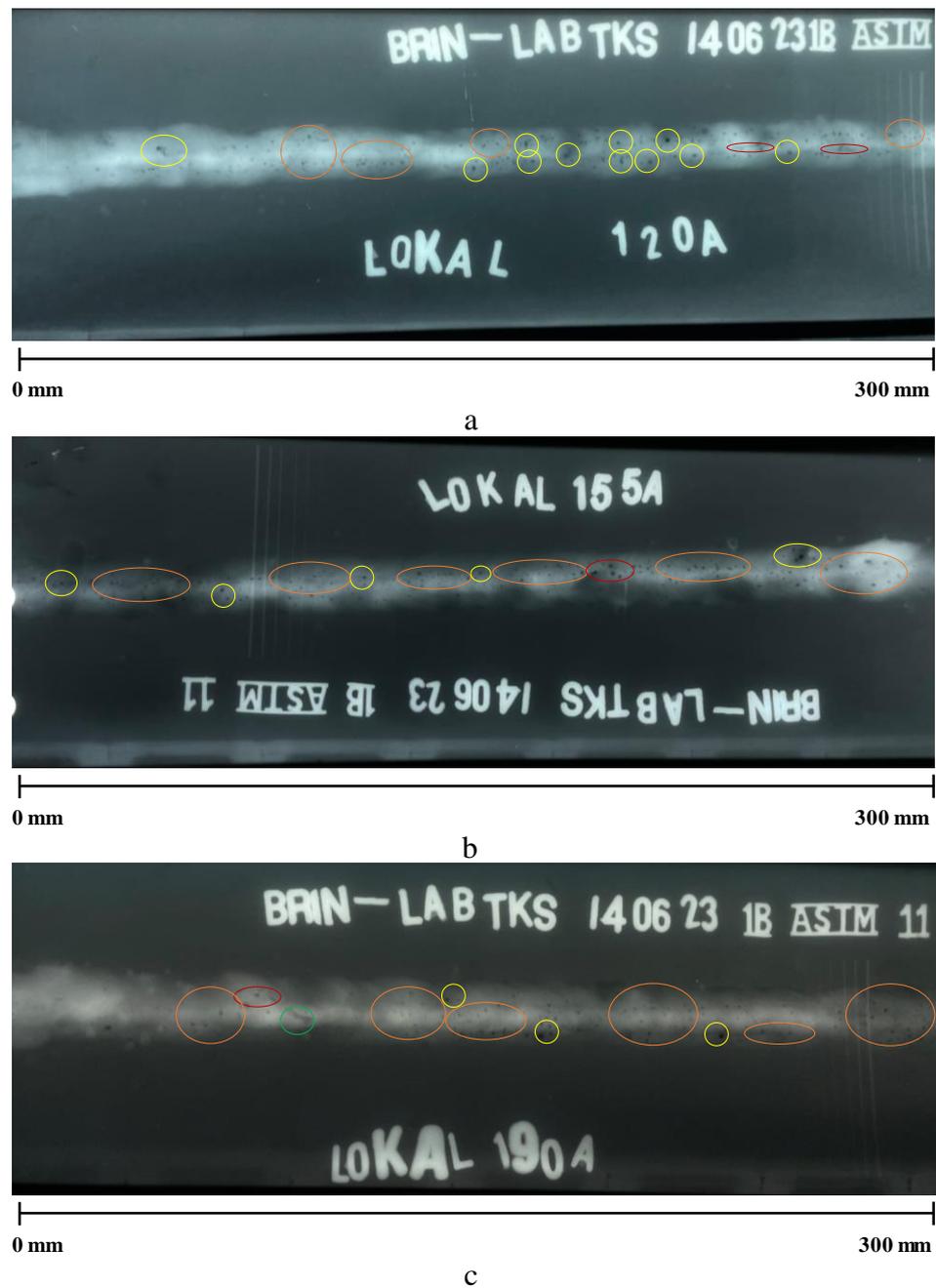
mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Komposisi Fe_2O_3 pada kandungan fluks akan meningkatkan kandungan oksigen pada logam las, kandungan oksigen pada logam las mampu mempengaruhi sifat ketangguhan impak logam las serta sifat kekerasan logam las (Li et al., 2021). SiO_2 (*Silicon Carbonoxide*) dan CaO (*Carbon Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik pada hasil las dimana SiO_2 dikenal dapat menurunkan nilai kekerasan, selain itu paduan SiO_2 dan CaO memiliki ketangguhan serta sifat tahan korosi yang dikenal baik dan sesuai dengan spesifikasi AWS A5.1 (Wang et al., 2016). Pada *slag* hasil pengelasan SMAW mengandung sekitar 80-85% CaO, CaF_2 dan SiO_2 dari total berat *slag* dan 15-20% mengandung unsur lain seperti Na_2O , MnO, Cr_2O_3 , Nb_2O_5 , TiO dll. CaO dan SiO_2 dalam *slag* dapat bertindak sebagai penstabil busur las dan dapat mengontrol viskositas *slag*, selain itu CaO dapat bertindak sebagai agen pemurnian pada *slag* pada proses desulfurisasi dan *dephosphorization* (Wang et al., 2016).

4.2 Hasil Karakterisasi Pengujian Radiografi

Setelah dilakukan proses pengelasan dan pengujian XRF selanjutnya dilakukan pengujian radiografi. Pengujian radiografi pada sambungan las pelat baja ASTM A36 yang bertujuan untuk mengetahui adanya cacat pada sambungan las. Jenis baja dengan standar ASTM A36 biasa digunakan pada berbagai konstruksi dan sambungan pada bagian pengelasan pada berbagai industri manufaktur (ASTM A36 *Steel.*, 2023).

4.2.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda Lokal

Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi radiografi dari jenis elektroda lokal.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Lokal (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A

Tabel 4.4 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 120 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 120 A				Acc/No
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	1	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
31-40	-	-	-	-	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	-	-	<i>Acc</i>
61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
81-90	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (Acc/No)					<i>No Acc</i>

Tabel 4.5 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 155 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 155 A				Acc/No
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	1	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	-	-	-	<i>Acc</i>
31-40	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	1	<i>Acc</i>
51-60	-	-	-	1	<i>Acc</i>

61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	1	-	-	<i>No Acc</i>
81-90	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)	<i>No Acc</i>				

Tabel 4.6 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 190 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 190 A				<i>Acc/No</i>
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	-	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	1	-	-	<i>No Acc</i>
31-40	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
51-60	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
81-90	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)	<i>No Acc</i>				

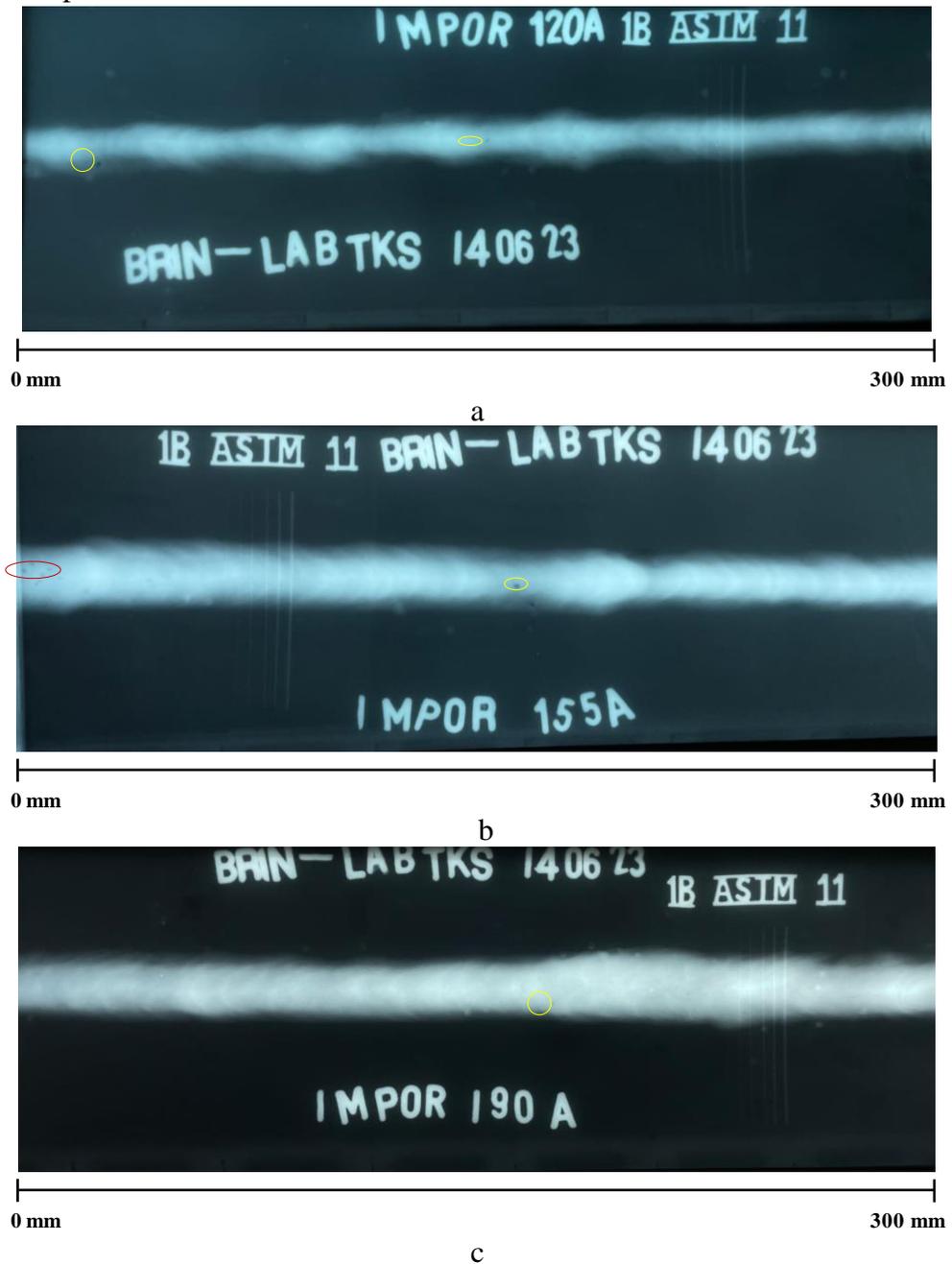
Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada lingkaran berwarna kuning menunjukkan cacat porositas dan garis oranye merupakan cacat *cluster porosity*. Cacat porositas terjadi karena hilangnya gas pelindung karena pengaruh faktor lain seperti udara atau karena reaksi kimia

dan terciptanya hidrogen dan terperangkap pada permukaan hasil las. Sedangkan lingkaran merah menunjukkan cacat *slag inclusion*. Cacat *slag inclusion* membentuk garis cekung berwarna hitam atau sebuah gabungan cacat porositas yang sejajar dan berdekatan. Dan lingkaran hijau menunjukkan jenis cacat *worm hole*, cacat las yang disebabkan karena tertangkapnya gas pada proses pengelasan, sehingga berbentuk rongga memanjang seperti tabung. Pada kuat arus 120 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak yaitu dengan jenis cacat porositas dan *cluster porosity*. Pada kuat arus 155 Ampere menunjukkan cacat porositas, cacat *worm hole* dan *cluster porosity*. Pada kuat arus 190 Ampere menunjukkan cacat porositas, cacat *worm hole* dan *cluster porosity*. Hasil dari sambungan las ASTM A36 menggunakan jenis elektroda lokal pada pengujian ini tidak dapat diterima atau masuk ke dalam *reject criteria* berdasarkan SNI yang dibantu oleh standar AWS D1.1 dan ASME IX dengan kuat arus elektroda lokal 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere masuk ke dalam *reject criteria*, hal ini sudah dipertimbangkan berdasarkan banyaknya cacat yang ada pada setiap 10 mm sepanjang 300 mm pelat. *Reject criteria* tersebut didapatkan karena jumlah cacat porositas dalam satu pelat dengan ukuran 300 x 100 x 10 (mm) dan lebar *root gap* 3 mm memiliki jumlah cacat porositas dan cacat *slag inclusion* yang jumlahnya cukup banyak dengan jarak yang berdekatan. Dimana jarak bebas minimum yang diperbolehkan antara tepi antar cacat minimal 16 *inch* dengan ukuran cacat maksimal 2 mm.

4.2.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda

Impor

Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi radiografi dari jenis elektroda impor.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Impor (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A

Setelah dilakukan pengamatan terhadap cacat pada elektroda lokal. Dapat disimpulkan bahwa jenis elektroda lokal tersebut rentan terjadinya cacat jika tidak menggunakan kuat arus yang sesuai. Untuk melakukan suatu perbandingan maka digunakan elektroda jenis impor. Gambar 4.3 menunjukkan hasil karakterisasi elektroda impor.

Tabel 4.7 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 120 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 120 A		Acc/No
	Porositas	slag inclusion	
0-10	1	-	Acc
11-20	-	-	Acc
21-30	-	-	Acc
31-40	-	-	Acc
41-50	-	-	Acc
51-60	1	-	Acc
61-70	-	-	Acc
71-80	-	-	Acc
81-90	-	-	Acc
91-100	-	-	Acc
Kesimpulan (Acc/No)		Acc	

Tabel 4.8 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 155 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 155 A		Acc/No
	Porositas	slag inclusion	
0-10	-	1	No Acc

11-20	-	-	<i>Acc</i>
21-30	-	-	<i>Acc</i>
31-40	-	-	<i>Acc</i>
41-50	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	<i>Acc</i>
61-70	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	<i>Acc</i>
81-90	-	-	<i>Acc</i>
91-100	-	-	<i>Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)		<i>Acc</i>	

Tabel 4.9 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 190 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 190 A		<i>Acc/No</i>
	Porositas	<i>slag inclusion</i>	
0-10	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	<i>Acc</i>
21-30	-	-	<i>Acc</i>
31-40	-	-	<i>Acc</i>
41-50	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	<i>Acc</i>
61-70	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	<i>Acc</i>
81-90	-	-	<i>Acc</i>
91-100	-	-	<i>Acc</i>

Kesimpulan
(Acc/No)

Acc

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada lingkaran berwarna kuning menunjukkan cacat porositas. Cacat porositas terjadi karena hilangnya gas pelindung karena pengaruh faktor lain seperti udara atau karena reaksi kimia dan terciptanya hidrogen dan terperangkap pada permukaan hasil las. Sedangkan lingkaran merah menunjukkan cacat *slag inclusion*. Cacat *slag inclusion* membentuk garis cekung berwarna hitam atau sebuah gabungan cacat porositas yang sejajar dan berdekatan. Pada kuat arus 120 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 2. Pada kuat arus 155 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 1 dan cacat *slag inclusion* berjumlah 1. Pada kuat arus 190 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 1. Hasil dari sambungan las ASTM A36 menggunakan jenis elektroda lokal pada pengujian ini tidak dapat diterima atau masuk ke dalam *accepted criteria* berdasarkan SNI yang dibantu oleh standar AWS D1.1 dan ASME IX.

4.3 Hasil Karakterisasi Pengujian Impak

Pengujian material merupakan suatu metode yang digunakan untuk menilai kekuatan suatu bahan dengan menerapkan beban aksial. Pengujian impak bertujuan untuk mengukur kemampuan sampel untuk menyerap energi. Pengujian impak adalah salah satu proses yang digunakan untuk mengukur tingkat kerapuhan suatu bahan. Meskipun dua bahan memiliki sifat serupa, pengujian impak dapat mengungkap perbedaan yang tidak terlihat melalui pengujian lainnya. Pengujian

impak berguna untuk menilai sejauh mana suatu bahan tahan terhadap guncangan, seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau fragilitas produk hasil cor dan pengaruh bentuk produk. Pengujian dampak merespons beban guncangan atau beban mendadak, dan dilakukan dengan menggunakan mesin uji yang dirancang khusus dengan pendulum bermassa tertentu yang berayun dari ketinggian untuk memberikan beban guncangan. Terdapat dua metode pengujian yang digunakan, yaitu metode "Izod" dan metode "Charpy," yang berbeda tergantung pada arah beban yang diterapkan pada sampel uji dan posisi sampel uji. Dalam pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi dampak yang dikenal sebagai keuletan *notch*. Spesimen *Charpy* memiliki bentuk batang dengan penampang segi empat dan alur V yang dibuat melalui proses permesinan. Beban dalam proses pengujian dampak diberikan melalui ayunan pendulum dengan massa G dan jarak dari sumbu rotasi R yang bergerak dari ketinggian h_1 dengan sudut awal α . Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus terhadap sifat mekanik menggunakan pengujian dampak. Perhitungan Harga Dampak (HI) berdasarkan hukum Newton dimana gaya merupakan hasil pembagian dari energi dan luas permukaan bidang (Swain et al., 2014). Jika luas permukaan memiliki bentuk bidang panjang seperti pada hasil las, maka energi yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan hukum gravitasi Newton, berikut merupakan persamaannya.

$$HI = \frac{\sigma}{A}$$

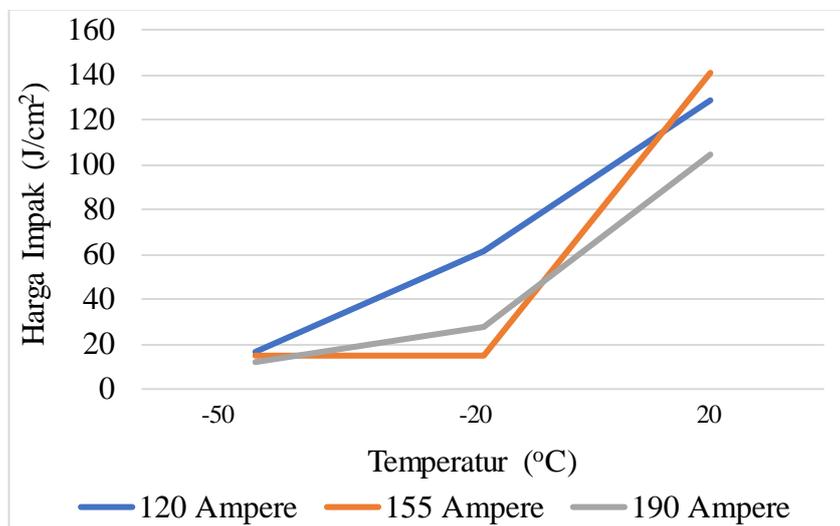
$A = \text{takik} \times \text{lebar}$

Dimana, HI : Merupakan harga impact (J/Cm^2), σ : Merupakan gaya (*Joule*) dan A : Luas Permukaan (Cm^2). Pada pengujian impact dilakukan dengan suhu yang berbeda pada setiap elektroda maka didapatkan pembahasan yang berbeda.

4.3.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Impact Elektroda Lokal

Pada Gambar 4.4 grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda lokal menunjukkan grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda. Pada suhu $-50^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $16,5 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $-20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $64,4 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $123,3 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $-50^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $13 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $-20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $21,6 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $132,1 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $-50^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $11,2 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Pada suhu $-20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $29 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Pada suhu $20^{\circ}C$ memiliki harga impact sebesar $93 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Maka rata-rata energi impact pada elektroda impor pada kuat arus 120 Ampere adalah $69 J/cm^2$. Rata-rata energi impact pada elektroda lokal pada kuat arus 155 Ampere adalah $59 J/cm^2$. Rata-rata energi impact pada elektroda impor pada kuat arus 190 Ampere adalah $48 J/cm^2$. Diketahui bahwa standar pengujian Impact untuk jenis baja karbon rendah pada hasil pengelasan SMAW adalah sebesar J/cm^2 . Maka energi impact yang dapat diterima pada semua kuat arus. Maka didapatkan Gambar 4.4. dan Tabel

4.10 berikut yang menunjukkan pengaruh suhu terhadap energi pada jenis elektroda lokal.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Lokal

Tabel 4.10 Data Pengaruh Suhu Terhadap Energu pada Elektroda Lokal

Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (Joule)	Harga Impak (J/cm ²)
120	-50	0,9	14,5	16,
120	-20	0,9	53	61,6
120	20	0,8	99	128,6
155	-50	0,7	11	14,9
155	-20	0,8	18	21,6
155	20	0,7	105	140,8
190	-50	0,6	7,5	12
190	-20	0,8	22	27,5
190	20	0,7	76	104,4

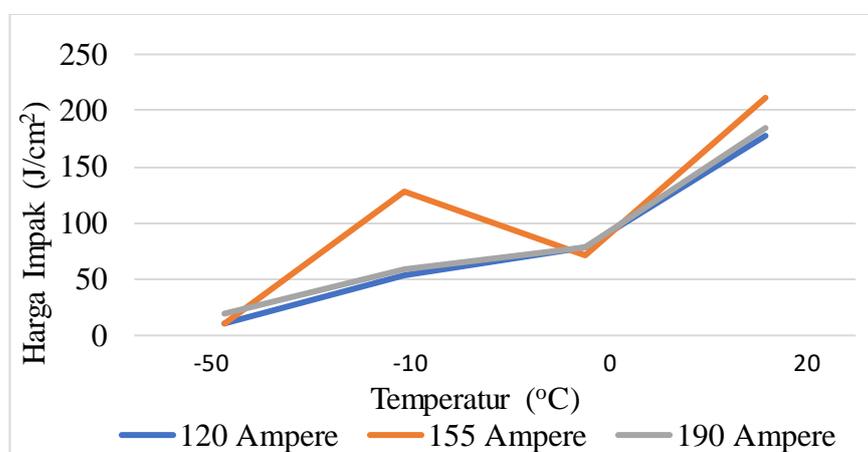
Kuat arus berperan pada pembentukan struktur mikro yang dihasilkan. Kuat arus yang tinggi dapat menyebabkan meratanya penetrasi yang dilakukan saat proses pengelasan. Namun kuat arus yang terlalu tinggi akan mengakibatkan panas yang terbentuk juga tinggi sehingga ukuran butir yang terbentuk tidak merata (Mansjur et al., 2019). Pada gambar di atas juga

menunjukkan adanya kenaikan HI ketika temperaturnya naik mendekati suhu ruang. Hal ini sesuai dengan literatur dimana semakin tinggi temperatur maka keuletan pada material akan semakin besar dan material akan semakin tangguh, sehingga HI yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dibuktikan pada Gambar 4.4 yang menunjukkan dimana pada temperatur 20°C pada semua variasi kuat arus mengalami kenaikan sampai dengan 70% dari temperatur -20°C.

4.3.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Impak Elektroda Impor

Pada Gambar 4.5 grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda lokal menunjukkan grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 178 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 65 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 168 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 10,3 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 43,9 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 77,2 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 220,8 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 173,9 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 173,9 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 75,7 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 187,7 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 114,0

J/cm² pada arus 190 Ampere. Maka rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 120 Ampere adalah 80 J/cm². Rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 155 Ampere adalah 205,5 J/cm². Rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 190 Ampere adalah 85,5 J/cm². Maka didapatkan Gambar 4.5. dan Tabel 4.10 menunjukkan pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda impor.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Impor

Tabel 4.10 Data Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Impor

Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (Joule)	Harga Impak (J/cm ²)
120	-50	0,8	8,5	10,7
120	-10	0,8	44	53,9
120	0	0,7	52	77,9
120	20	0,7	120	177,6
155	-50	0,7	7,5	10,6
155	-10	0,7	96	128,6
155	0	0,7	53	71,5
155	20	0,7	146	128,6
190	-50	0,9	18	19,4
190	-10	0,7	42	59,2
190	0	0,7	53	78,8
190	20	0,7	123	184,5
190	20	0,7	76	104,4

Diketahui bahwa standar pengujian Impak untuk jenis baja karbon rendah pada hasil pengelasan SMAW adalah $42,5 \text{ J/m}^2$. Berdasarkan standar tersebut dapat disimpulkan bahwa elektroda impor yang lulus uji impak ada pada semua kuat arus. Pada hasil uji impak ini juga membuktikan bahwa nilai uji impak elektroda impor lebih unggul. Pengaruh suhu pada pengujian impak adalah dimana semakin tinggi suhu maka nilai HI akan semakin tinggi, hal ini dibuktikan pada hasil pengujian impak dimana pada suhu -10°C memiliki nilai rata-rata HI sebesar $80,6 \text{ J/cm}^2$ pada suhu 20°C memiliki nilai rata-rata HI sebesar $191,2 \text{ J/cm}^2$. Pengaruh komposisi unsur pada hasil impak juga berperan. Oksida CaO dan SiO bersifat basa dimana kandungan oksida basa pada elektroda berperan untuk membatasi sudut kontak sehingga tegangan permukaan yang terjadi relatif kecil (Kumar et al., 2023). Tegangan permukaan lebih rendah dan gradien termal positif ini memicu aliran cairan logam menuju interior kolam lasan yang dengan demikian cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam (Shahab, 2010). Oksida TiO_2 juga berperan dalam hasil pengelasan SMAW dimana dengan adanya unsur TiO_2 unsur lain (misalnya SiO_2 , Al dan Zr) pada logam las akan terdeposisi semakin merata, komposisi unsur tersebut dapat berpindah dari *slag* ke hasil lasan (Bang et al., 2009).

4.4 Hasil Karakterisasi Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengukur kekuatan material terhadap beban yang diberikan dengan penekanan sudut yang dilakukan untuk mengetahui cacat retak geser pada sampel. *Bending test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan

ductile pada material. Secara umum sifat *ductile* pada material dipengaruhi oleh komposisi unsur dari material itu sendiri dan jenis perlakuan yang dilakukan (Acarer et al., 2003). Pada pengujian *bending* yang dilakukan diberikan penekanan dengan sudut tekuk 120°. Pengujian ini dilakukan dengan standar SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Selain itu komposisi unsur juga berpengaruh pada hasil pengujian *bending*. TiO berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Komposisi SiO₂ perbaikan sifat mekanik. SiO₂ berpengaruh pada penurunan slag tegangan antarmuka dengan dikarenakan unsur oksida, selain itu sifat antarmuka secara langsung dipengaruhi oleh struktur ionik terak (Jung et al., 2010). Sedangkan pengaruh senyawa CaO pada elektroda impor adalah pada *slag* yang dihasilkan dimana kandungan karbon pada CaO dapat berpengaruh pada kekerasan hasil las. Hasil pengujian *bending* menampakan terjadinya retak atau tidak retak pada sampel uji. Dimana jika tidak terjadi retak maka masuk ke dalam *accepted criteria* dan jika tidak terjadi retak maka masuk ke dalam kategori *no accepted criteria* dan masuk ke dalam proses perbaikan. Analisis ini dibagi berdasarkan jenis elektroda lokal dan impor untuk dilakukan perbandingan, berikut merupakan pembahasan dari analisis pengujian *bending*.

4.4.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Bending* Elektroda Lokal

Gambar 4.5. dan Tabel 4.10 menunjukkan pengaruh hasil dari karakterisasi *bending* pada elektroda lokal.

Tabel 4.12 Hasil dari Karakterisasi *Bending* Elektroda Lokal

No	Sampel Elektroda Lokal	Dimensi (mm)	Sudut Tekuk (°)	<i>Test Result</i>	
				Penampilan (Retak/Tidak Retak)	Result
1	120 A	38,98/9,48	120	Tidak retak	Acc
2	155 A	37,96/9,48	120	Tidak retak	Acc
3	190 A	38,75/9,43	120	Tidak retak	Acc

Dari Tabel 4.12 menunjukkan bahwa hasil pengujian *bending* tidak terjadi retak dan masuk dalam kategori *accepted criteria*. Pengujian ini menggunakan sudut 120° hal ini dikarenakan sudut tersebut efisien memungkinkan logam dibentuk menjadi bagian bagian baru. Menurut literatur mengatakan bahwa tingginya arus listrik yang diterima oleh logam induk dapat merubah panas dalam jumlah yang besar ke daerah lasan, oleh karena itu semakin besar arus pengelasan yang digunakan maka akan mengakibatkan penetrasi semakin besar (Nata et al., 2021). Maka hasil pengujian *bending* dipengaruhi oleh faktor semakin besar arus listrik dan jenis kawat las yang digunakan saat proses pengelasan maka hasil kekuatan nilai uji *bending* semakin besar (Nata et al., 2021). Komposisi pada dua jenis elektroda memiliki jumlah unsur dan senyawa yang berbeda, hal ini akan berpengaruh pada sifat mekanik hasil las. Untuk melakukan sebuah perbandingan maka dilakukan pengujian *bending* pada elektroda impor sebagai berikut.

4.4.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Bending* Elektroda Impor

Tabel 4.11 menunjukkan hasil karakterisasi dari uji *bending* elektroda impor.

Tabel 4.13 Hasil dari Karakterisasi *Bending* Elektroda Impor

No	Sampel	Dimensi (mm)	Sudut Tekuk (°)	Test Result	
	Elektroda Impor			Penampilan (Retak/Tidak Retak)	Result
1	120 A	39,39/9,50	120	Tidak retak	Acc
2	155 A	38,31/9,40	120	Tidak retak	Acc
3	190 A	37,73/9,54	120	Tidak retak	Acc

Dari Tabel 4.13 menunjukkan bahwa hasil pengujian *bending* tidak terjadi retak dan masuk dalam kategori *accepted criteria*. Pengujian ini menggunakan sudut 120° hal ini dikarenakan sudut tersebut efisien memungkinkan logam dibentuk menjadi bagian bagian baru. Diketahui bahwa semakin tinggi arus listrik yang digunakan pada saat proses pengelasan maka hasil kekuatan uji *bending* semakin besar (Nata et al., 2021). Menurut standar ASW D1.1 hasil pengujian *bending* tersebut masuk ke dalam *accepted criteria* jika dilihat dari jumlah retakan pada permukaan pada hasil radiografi. Dimana, jumlah cacat terbesar ukurannya tidak melebihi dari 10 mm dan ukuran cacat lainnya antara 1 mm sampai 3 mm (AWS D1.1, 1981).

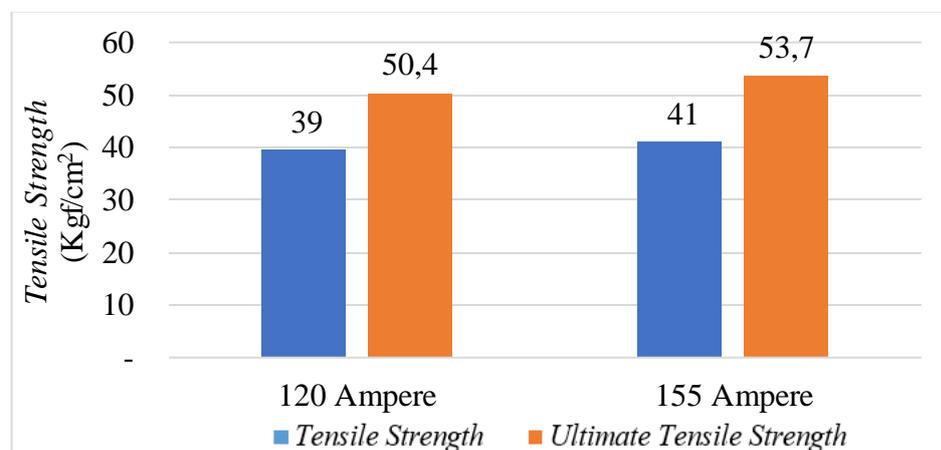
4.5 Hasil Karakterisasi Pengujian Tarik

Hasil struktur mikro yang dihasilkan setelah dilakukannya proses pengelasan dan *pre heat* pada temperatur 425°C mempengaruhi sifat mekanik baja ASTM A 36. Namun sifat dari baja itu sendiri tergantung pada komposisi unsur didalamnya. Jenis elektroda yang berbeda memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda pula, hal ini mengakibatkan sifat mekanik yang berbeda pula. Dengan

memvariasikan arus akan mengakibatkan perubahan pada sifat mekanik elektroda lokal dan impor.

4.5.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Jenis Elektroda Lokal

Gambar 4.7 dan Tabel 4.12 menunjukkan grafik dan tabel hasil karakterisasi uji tarik pengaruh kuat arus terhadap UTS dan Tegangan pada elektroda lokal.



Gambar 4.7 Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Lokal

Tabel 4.14 Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Lokal

Arus (Ampere)	Luas penampang (cm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ_y		σ_u	
				N/cm ²	Kgf/cm ²	N/cm ²	Kgf/cm ²
120	0,2	72,5	92,5	390,5	39,5	498,2	120
155	0,2	72,5	95	405,3	41	531,1	155

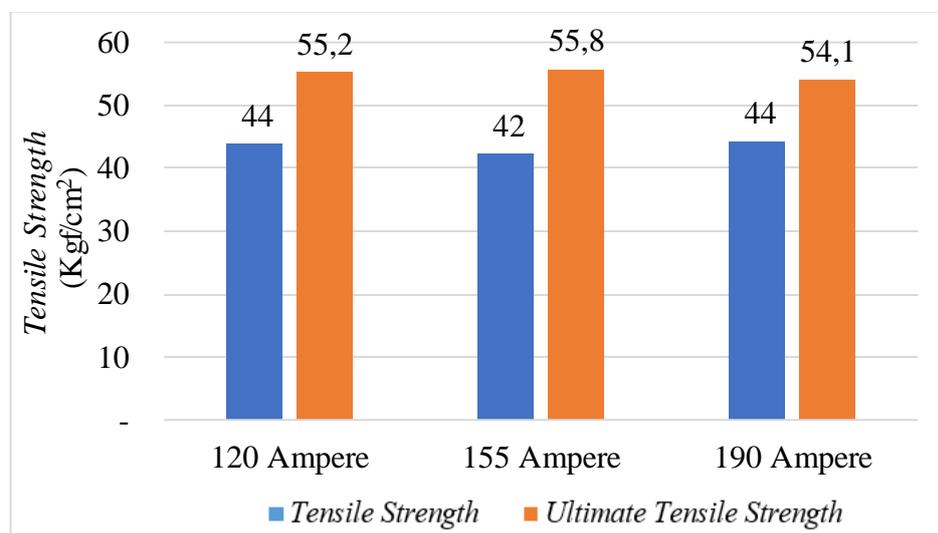
Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan grafik uji tarik pada spesimen elektroda lokal dengan variasi arus 120 A dan 155 A. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga gaya yang dibutuhkan untuk membuat spesimen tersebut mengalami patah. Perpatahan pada spesimen dengan arus 120 A memiliki *ultimate*

tensile strength sebesar 92,5 kN dan *tensile strength* sebesar 72,5 kN. dan pada spesimen dengan arus 155 A berada di 95 kN dengan nilai tegangan tertinggi ada pada kuat arus 155 Ampere yaitu 531 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memvariasikan arus akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik pada spesimen elektroda lokal. Berdasarkan literatur dijelaskan bahwa nilai tegangan di area logam las mengalami peningkatan dibandingkan dengan logam dasar pada semua arus pengelasan. Oleh karena itu, kekuatan sambungan las sangat baik karena nilai tegangan uji tarik lebih tinggi daripada kekuatan logam dasar. Nilai tegangan pada jenis baja ASTM A 36 sendiri ada pada 160 Mpa (Sulistiyo et al., 2019). Peningkatan ini dipengaruhi oleh penggunaan arus yang sesuai dan bahan *filler* (Azwinur & Syukran, 2021). Pada hasil pengujian Uji tarik didapatkan nilai tertinggi gaya uji tarik pada 53,7 Kgf/cm² pada kuat arus 155 Ampere. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi dari elektroda dimana komposisi TiO berpengaruh pada *strength* pada hasil. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Selain itu komposisi SiO₂ perbaikan sifat mekanik dan slag yang terbentuk. SiO₂ berpengaruh pada penurunan slag tegangan antarmuka dengan dikarenakan unsur oksida, selain itu sifat antarmuka secara langsung dipengaruhi oleh struktur ionik terak (Jung et al., 2010). Maka, dapat disimpulkan bahwa

meningkatnya nilai tegangan pada sampel menggunakan elektroda lokal disebabkan oleh kuat arus yang digunakan dan komposisi pada elektroda lokal itu sendiri.

4.5.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Jenis Elektroda Impor

Gambar 4.8 menunjukkan grafik hasil karakterisasi uji tarik pengaruh kuat arus terhadap UTS dan Tegangan pada elektroda impor.



Gambar 4.8 Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Impor

Tabel 4.15 Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Impor

Arus (Ampere)	Luas penampang (cm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ_y		σ_u	
				N/cm ²	Kgf/cm ²	N/cm ²	Kgf/cm ²
120	0,2	77,5	97,5	434	43,9	545,9	55,2
155	0,2	75	97,5	418	42,2	543	54,9
190	0,2	77,5	95	437	44,2	535,6	54,2

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan grafik uji tarik pada spesimen elektroda impor dengan variasi arus 120 A, 155 A, dan 190 A. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka

semakin berkurangnya juga gaya yang dibutuhkan untuk membuat spesimen tersebut mengalami patah. Perpatahan pada spesimen dengan arus 120 A berada di 97,5 kN, pada spesimen dengan arus 155 A berada di 97,5 kN, dan pada spesimen dengan arus 190 A berada di 95 kN. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen dengan elektroda impor memiliki sifat mekanik yang baik pada arus 155 A. Pada hasil pengujian Uji tarik didapatkan nilai tertinggi gaya uji tarik pada 97,5 kN pada kuat arus 120 dan 190 Ampere dengan nilai UTS tertinggi ada pada kuat arus 155 Ampere yaitu 55,8 Kgf/cm². Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi dari elektroda dimana komposisi TiO berpengaruh pada *strength* pada hasil. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Oksida CaO dan SiO bersifat basa dimana kandungan oksida basa pada elektroda berperan untuk membatasi sudut kontak sehingga tegangan permukaan yang terjadi relatif kecil (Kumar et al., 2023). Tegangan permukaan lebih rendah dan gradien termal positif ini memicu aliran cairan logam menuju interior kolam lasan yang dengan demikian cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam (Shahab, 2010).

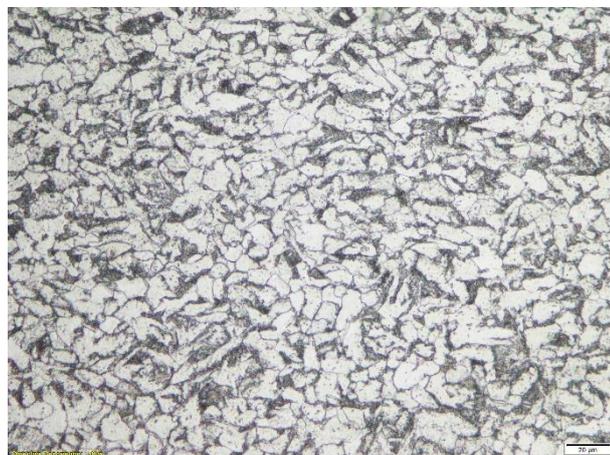
4.6 Hasil Karakteriasi Pengujian *Optical Microscope*

Optical Microscop atau mikroskop digital biasanya diartikan sebagai mikroskop tanpa lensa mata atau alat penghelihatan secara langsung. OM

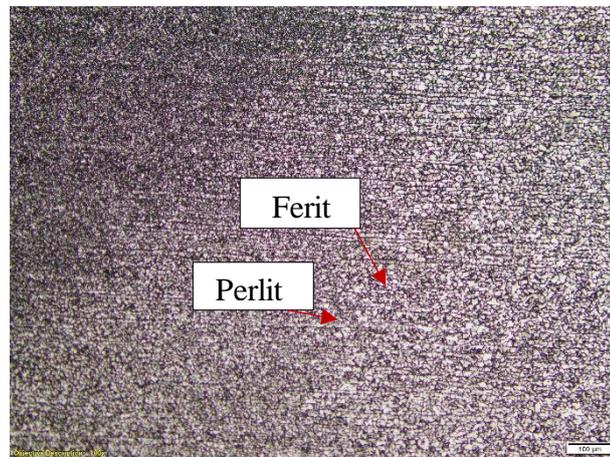
menggunakan komputer untuk menampilkan hasil karakteristik yang berupa sktruktur mikro (Grubb, 2012). Struktur mikro yang ditampilkan berupa jens fasa yang terbentuk pada hasil pengelasan menggunakan elektroda lokal dan impor dengan variasi kuat arus. Jenis fasa yang terbentuk akan berpengaruh pada sifat mekaniknya. Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan OM (*Optical Microscop*) dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200x sampai dengan 500x. Analisa ini menggunakan sistem lensa dan cahaya tampak untuk memperbesar sampel agar dapat diketahui struktur mikronya secara rinci. Pada penelitian ini pengujian OM dilakukan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro yang terbentuk. Hal ini dikarenakan pembentukan struktur mikro berpengaruh pada sifat mekanik hasil lasan.

4.6.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Optical Microscope* Jenis Elektroda Lokal

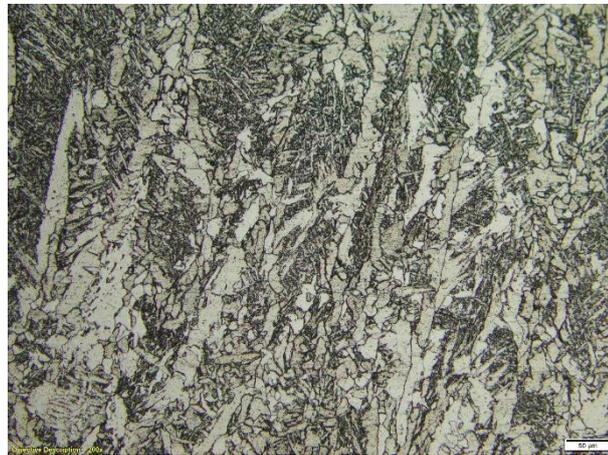
Gambar 4.9 sampai dengan 4.11 menunjukkan hasil pengujian OM pada elektroda lokal pada variasi kuat arus 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere.



a



b

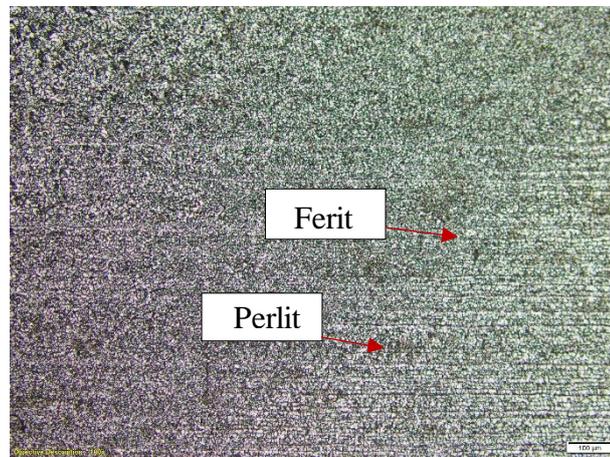


c

Gambar 4.9 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a

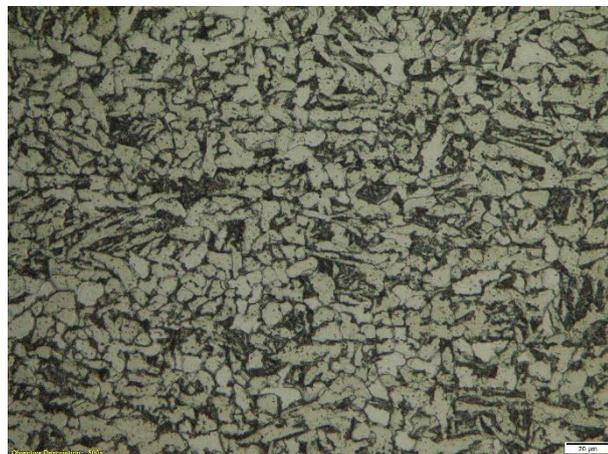


b

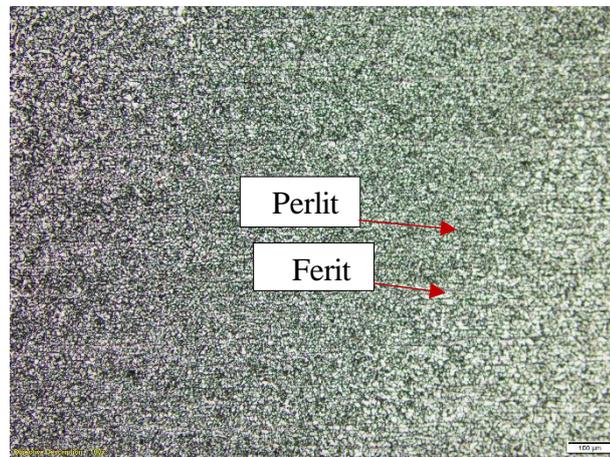


c

Gambar 4.10 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a



b



c

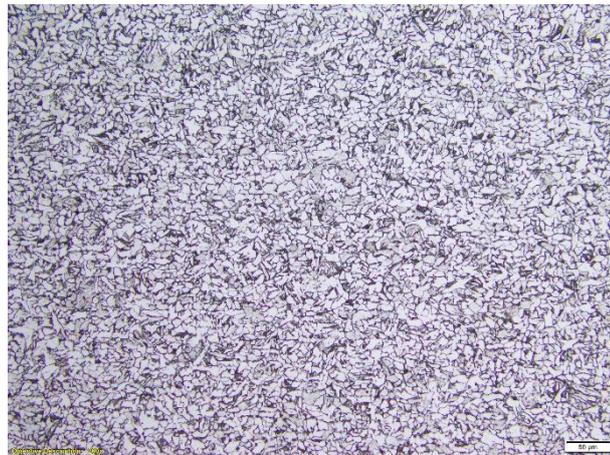
Gambar 4.11 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM

Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan alat mikroskop optic dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200-500x pada tiga daerah yang berbeda. Daerah pertama adalah *Base Metal* (BM), yang kedua adalah daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan yang ketiga adalah daerah *Weld Metal* (WM). Analisa ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* pada baja ASTM A36. Diketahui ukuran batang baja yaitu (37,5 x

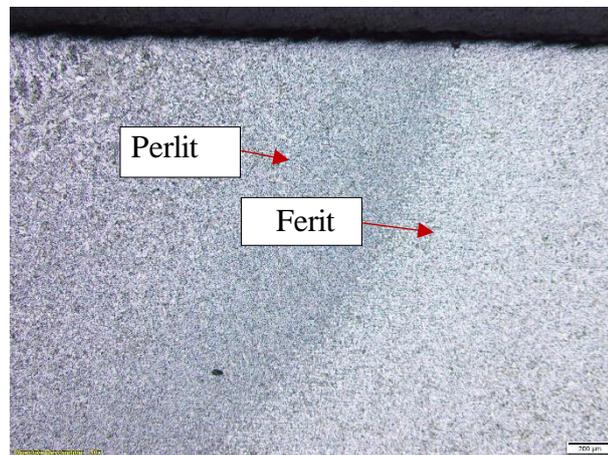
100 x 10) mm. Maka didapatkan hasil pengujian karakterisasi OM pada Gambar 4.9. Pada Gambar 4.9 menunjukkan fasa ferit dan perlit sama dominan. Dimana fasa ferit ditunjukkan pada bidang dengan warna terang dan fasa perlit pada bidang dengan warna gelap kehitaman. Terbentuknya struktur fasa terjadi karena adanya kandungan unsur, Fe dapat menyebabkan parameter kisis berubah dan berakibat pada munculnya fasa baru pada pelat. Ferit memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan dengan perlit. Dimana kekerasan karbon perlit ada pada nilai 180 hingga 250 HV (Aji Prabowo, et al., 2019). Fasa perlit masih banyak ditemukan pada jenis elektroda lokal. Fasa ferit memiliki sifat yang ulet. Pada elektroda lokal terdapat fasa perlit yang terbentuk. Fasa perlit terdiri atas fasa ferit dan sementit. Fasa ini memiliki sifat yang ulet, kuat dan keras (Callister Jr & Rethwisch, 2018) namun lebih mudah berkarat hal ini dikarenakan pada setiap fasa perlit memiliki titik kecil yang merupakan hasil reaksi oksidasi dari *flux* dan pelat logam. Adanya keseimbangan fasa ferit dan perlit yang terbentuk menjadikan jenis elektroda lokal baik berdasarkan struktur fasa. Namun tetap perlunya dilakukan perbandingan dengan menggunakan metode pengujian lainnya terutama metode pengujian *destructive test*.

4.6.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Optical Microscope* Jenis Elektroda Impor

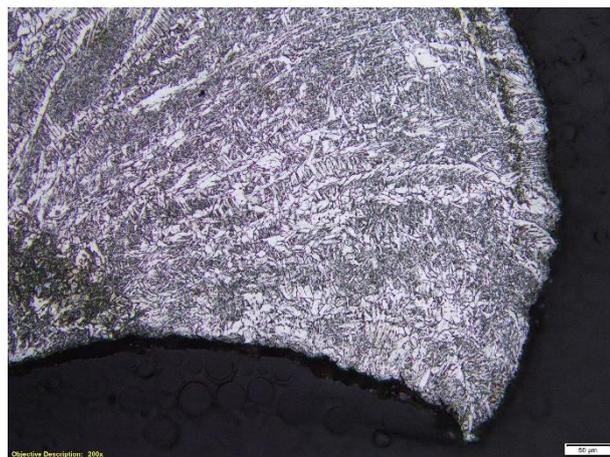
Gambar 4.12 sampai dengan 4.14 menunjukkan hasil pengujian OM pada elektroda impor pada variasi kuat arus 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere.



a

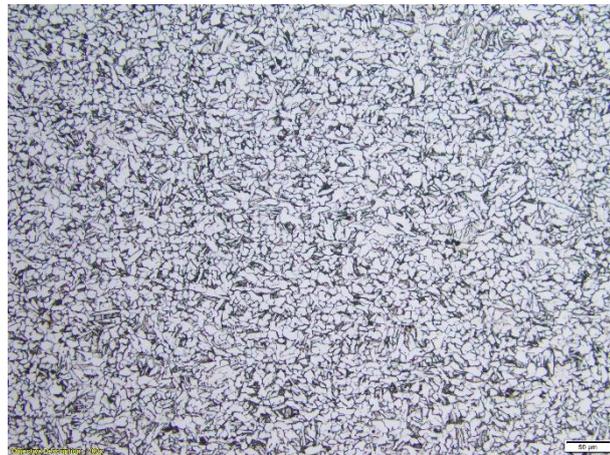


b

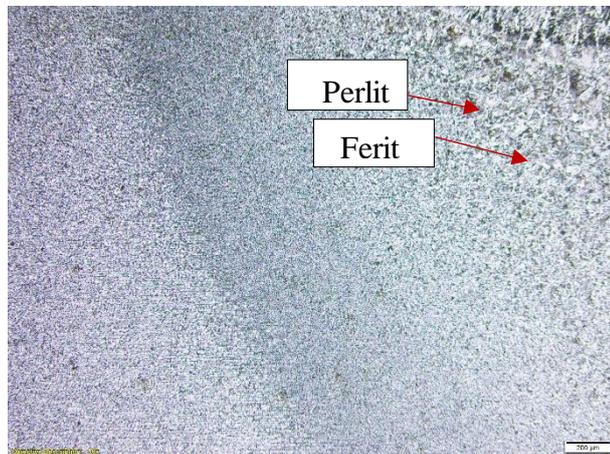


c

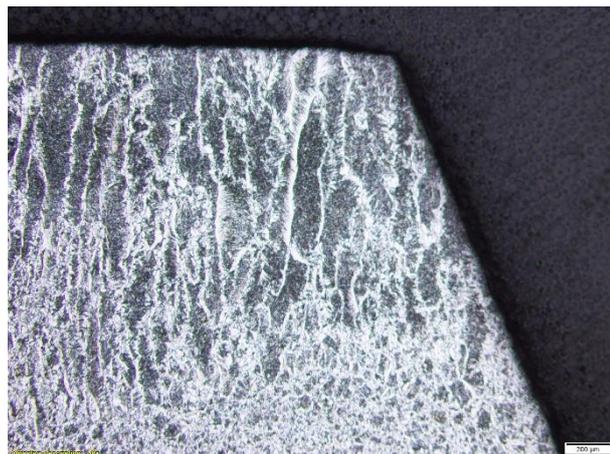
Gambar 4.12 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a

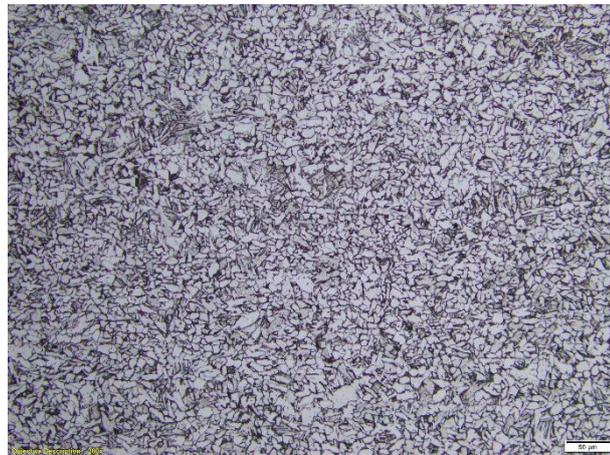


b

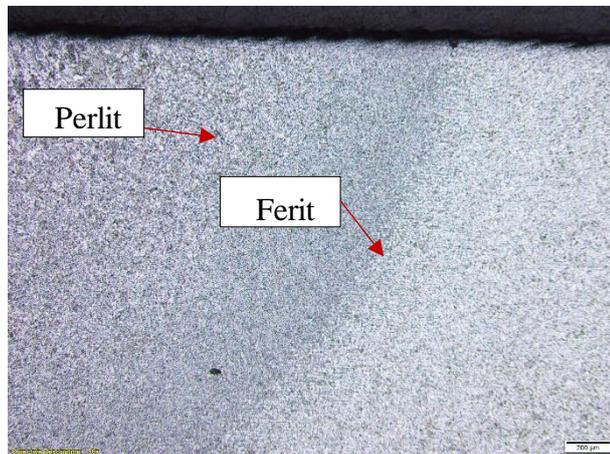


c

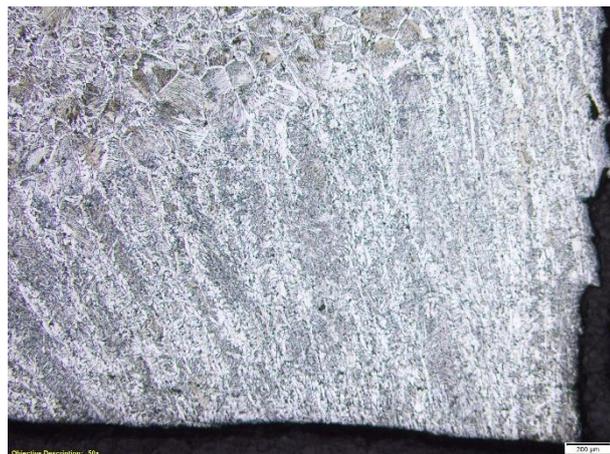
Gambar 4.13 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a



b



c

Gambar 4.14 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM

Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan alat mikroskop optic dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200-500x pada tiga daerah yang berbeda. Daerah pertama adalah *Base Metal* (BM), yang kedua adalah daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan yang ketiga adalah daerah *Weld Metal* (WM). Analisa ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* pada baja ASTM A36. Diketahui ukuran batang baja yaitu (37,5 x 100 x 10) mm. Maka didapatkan hasil pengujian karakterisasi OM pada Gambar 4.14. Pada Gambar 4.14 menunjukkan fasa ferit mendominasi dari pada fasa perlit. Dimana fasa ferit ditunjukkan pada bidang dengan warna terang dan fasa perlit pada bidang dengan warna gelap kehitaman. Pada hasil las menggunakan elektroda impor struktur ferit yang terbentuk merupakan struktur ferit halus. Struktur ini terbentuk akibat perlakuan panas sehingga terbentuknya ferit. Struktur ferit yang melebar merupakan struktur ferit halus. Berdasarkan literatur semakin kasar fasa ferit maka tingkat kekerasan menurun, dan semakin halus ferit yang terbentuk maka tingkat keuletannya akan semakin meningkat (Aji Prabowo, et al., 2019).

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui cacat pengelasan, struktur mikro, nilai kekuatan impak, kekuatan *bending*, nilai kekuatan tarik, dan struktur fasa yang terbentuk pada proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan perlakuan elektroda lokal dan impor serta variabel kuat arus, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada hasil pengelasan SMAW menggunakan elektroda lokal terdapat cacat porositas dan cacat *slag inclusion* yang dominan terjadi dimana cacat tersebut masuk ke dalam kategori penolakan menurut standar SNI dibantu oleh standar AWS D1.1 dan ASME IX. Cacat tersebut banyak terlihat pada jenis elektroda lokal dengan kuat arus 120 Ampere dan 155 Ampere. Sedangkan pada jenis elektroda impor cacat tersebut tidak dominan terlihat.
2. Pengaruh kuat arus pada sifat mekanik baja ASTM A36 dengan variasi kuat arus 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere dapat ditunjukkan pada hasil pengujian impak. Pada pengujian impak menunjukkan bahwa energi berpengaruh pada HI (Harga Impak) yang dihasilkan dimana energi berbanding lurus dengan HI. Selain itu suhu pada nilai HI juga berpengaruh dimana semakin tinggi suhu maka HI yang dihasilkan akan semakin besar. Pengaruh HI dan energi ditunjukkan pada jenis elektroda lokal dan elektroda impor. Pengaruh suhu pada HI dapat dilihat pada hasil pengujian

impak dengan jenis elektroda lokal dan impor dimana pada suhu 0°C rata-rata memiliki nilai HI yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di bawahnya. Yaitu pada elektroda lokal memiliki nilai HI sebesar pada suhu 20°C 191,2 J/cm² dan pada elektroda impor memiliki nilai HI sebesar 124,6 J/cm².

3. Pada pengujian *bending* menyatakan bahwa tidak terjadinya retak pada kedua elektroda dengan variasi kuat arus, hal ini menyatakan bahwa kedua elektroda tersebut memiliki sifat mekanik *bending* yang baik baik pada jenis elektroda lokal maupun elektroda impor. Hal ini mengakibatkan pada hasil pengujian *bending* masuk ke dalam *accepted criteria*.
4. Pada pengujian tarik menyatakan bahwa dengan memvariasikan arus akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik pada spesimen elektroda. Selain itu komposisi yang berbeda pada dua jenis elektroda juga berpengaruh pada nilai tegangan yang dihasilkan. Elektroda impor memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis elektroda lokal. Nilai tegangan tertinggi pada elektroda impor ada pada 546 Mpa dengan kuat arus 120 Ampere, sedangkan pada elektroda lokal ada pada 531 Mpa dengan kuat arus 155 Ampere.
5. Pada pengujian OM (*Optical Microscope*) dapat disimpulkan bahwa struktur fasa yang terbentuk pada elektroda lokal didominasi oleh struktur fasa ferit dan perlit. Sifat dari strktur fasa ferit adalah ulet dan memiliki mampu las yang tinggi. Struktur fasa perlit juga memiliki sifat ulet namun cenderung lebih kaku dibandingkan dengan struktur fasa ferit. Pada jenis

elektroda impor fasa ferit lebih mendominasi dari pada fasa perlit. Pada elektroda impor menunjukkan bahwa struktur fasa ferit telah melebar. Fasa perlit yang melebar dapat disebut dengan ferit halus. Sifat ferit halus cenderung lebih ulet dan memiliki sifat mekanik yang baik. Jenis flux pada proses pengelasan berpengaruh pada struktur fasa yang terbentuk. Dimana pada elektroda lokal komposisi *flux* dominan membentuk fasa perlit dan pada elektroda impor komposisi *flux* dominan membentuk fasa ferit halus.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapatkan selama penelitian berlangsung dan setelah penelitian selesai adalah sebagai berikut ini:

1. Menggunakan variasi jenis pengelasan yang berbeda misalnya jenis pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) sebagai perbandingan.
2. Menggunakan variasi temperatur *pre heat* pada logam las.
3. Melakukan pengujian mekanik kekerasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acarer, M., Gülenç, B., & Findik, F. (2003). Investigation Of Explosive Welding Parameters And Their Effects On Microhardness And Shear Strength. *Materials And Design*, 24(8), 659–664. [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(03\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00066-9)
- Affi, J., & Gunawarman. (2007). Pengaruh Lapisan Oksida Tambahan pada Elektroda E 6013 terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Lasan Baja Karbon Rendah. *TeknikA*, 1(28), 13–20.
- Allen, L. (1995). *The Effect of Varying the MnO content of the Flux Used For The Submerged ARC Welding of Navy HY-100 Steel*.
- American Society For Testing And Materials (ASTM) . (2005). ASTM: A 36/A 36m-05 Standard Specification For Carbon Structural Steel. *ASTM A36*, 1–4. [Www.Astm.Org](http://www.astm.org),
- ASTM International, 2003. *ASM Handbook : Welding And Brazing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..
- ASTM, 2005. *Standard Specification For Carbon Structural Steel – A36*. Pennsylvania: Astm International.
- AWS A5.1, 2012. Aws A5.1/ A5.1:2012 An American National Standard. In: 8667 Doral Blvd & F. 3. Doral, Eds. *Spesification For Carbon Steel Electrode For Shielded Metal Arc Welding*. Amerika: American Welding Society, P. 16.
- AWS, D. 1.1 (1981). Structural Welding Code - Steel. In *American National*

Standards Institute, Standards.

Azdkar, M. S., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2019). Analisis Pengelasan Smaw Pada Baja Astm A36 Dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Biokorosi Di Lingkungan Laut. *Jurnal Teknik Its*, 7(2).
<https://doi.org/10.12962/J23373539.V7i2.32118>

Azwinur & Muhazir, 2019. Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan Smaw Terhadap Sifat Mekanik Material Ss400. *Jurnal Polimesin*, Pp. Volume 17, Nomor 1.

Boumerzoug, Z., Derfouf, C., & Baudin, T. (2010). Effect Of Welding On Microstructure And Mechanical Properties Of An Industrial Low Carbon Steel. *Engineering*, 02(07), 502–506.
<https://doi.org/10.4236/Eng.2010.27066>

Caballero, F. G., 2022. *Encyclopedia Of Material : Metals And Alloys*. Madrid: Elsevier.

Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In *Materials Science and Engineering - An Introduction*.

Detech, 2020. *Bending Test : Pengertian, Jenis, Prosedur Dan Acceptance*. [Online] Available At: <https://www.detech.co.id/bending-test/> [Accessed 8 Desember 2022].

Dmitry Mishchenkoigor, Goncharovigor Goncharov, V. S. Sudavtsova, & Volodimir Galinich. (2019). *Methods Of Control Of Silicon Oxide Activity In Slagmelts*.
https://www.researchgate.net/publication/330385219_Methods_of_Control_of_Silicon_Oxide_Activity_In_Slag_Melts#fulltextfilecontent.

- T. S. C. (N.D.). *Exhibit 151 Part 1 Astm A36 : Standard Specification For Carbon Structural Steel*. 1–187.
- Gandy, D. (2007). Carbon Steel Handbook. *Carbon*, 3(3), 172.
- Grubb, D. T. (2012). 2.17 - Optical Microscopy. In *Polymer Science: A Comprehensive Reference: Volume 1-10* (Vols. 1–10). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00035-2>
- Hashimi, S., 2014. Welding Processes And Technologies. In: *Comprehensive Material Processing*. New York: Elsevier, Inc, Pp. 3-48.
- Khurmi, R., 2005. *A Textbook Of Machine Design*. New Delhi: Schand.Kou, S., 2003. *Welding Metallurgy*. New Jersey: Wiley.
- Kumar, V., Chhibber, R., & Mahajan, S. (2023). Investigations on wetting and structural behavior using CaF₂-SiO₂-CaO-22.5%TiO₂ SMAW electrode coating for AUSC applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 237(8), 1861–1873. <https://doi.org/10.1177/14644207231159833>
- Llewellyn, D., 1992. *Metallurgy And Application*. S.L.:Elsevier Ltd..
- Li, H., Liu, S., Ma, Q., Wang, P., Liu, D., & Zhu, Q. (2021). Investigation of Process Stability and Weld Quality of Underwater Wet Flux-Cored Arc Welding of Low-Alloy High-Strength Steel with Oxy-Rutile Wire. *Polish Maritime Research*, 28(3), 100–109. <https://doi.org/10.2478/pomr-2021-0037>
- Mahajan, S., & Chhibber, R. (2019). Design And Development Of Cao–Sio₂–Caf₂ And Cao–Sio₂–Al₂O₃ Based Electrode Coatings To Weld Low Alloy Ferritic

Steels For Power Plant Applications. *Ceramics International*, 45(18), 24154–24167. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.124>

Mansjur, Z., Sumual, H. M., & Tamba, I. P. (2019). The effect of groove welding on mechanical properties and microstructure of wear resistance steel pelate by Submerged Arc Welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 694(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/694/1/012027>

Mapossa, J. B. (2018). IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN XRF DAN OES SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA PADUAN. In *New England Journal of Medicine* (Vol. 372, Issue 2). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7556065><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC394507><http://dx.doi.org/10.1016/j.humphath.2017.05.005><https://doi.org/10.1007/s00401-018-1825-z><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27157931>

Mahieux, C. A., 2006. Flexural Testing. In: *Environmental Degradation Of Industrial Composites*. Paris: Elsevier Etd..

Moalli, J., 2001. *Plastic Failure Analysis And Prevention*. New York: William Andrew.

Nata, O. D., Hidayat, M., & Rohman, S. A. (2021). Analisis Kekuatan Uji *Bending* Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw) Material Ss400 Menggunakan Kawat Las E6013 Berbagai Variasi Arus Listrik. *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 2(1), 12–15. <https://doi.org/10.36761/Hexagon.V2i1.871>

- Nata, O. D., Hidayat, M., & Rohman, S. A. (2021). Analisis Kekuatan Uji *Bending* Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw) Material Ss400 Menggunakan Kawat Las E6013 Berbagai Variasi Arus Listrik. *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 2(1), 12–15. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v2i1.871>
- Paniagua-Mercado, A. M., Lopez-Hirata, V. M., Dorantes-Rosales, H. J., Estrada Diaz, P., & Diaz Valdez, E. (2009). Effect of TiO₂-containing fluxes on the mechanical properties and microstructure in submerged-arc weld steels. *Materials Characterization*, 60(1), 36–39. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.06.003>
- Preedawiphat, P., Mahayotsanun, N., Sa-ngoen, K., Noipitak, M., Tuengsook, P., Sucharitpwatskul, S., & Dohda, K. (2020). Mechanical investigations of astm a36 welded steels with stainless steel cladding. *Coatings*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/coatings10090844>
- Rajeswari, V. B., Paramashivan, S. S., Mohan, S., Albert, S. K., & Rahul, M. (2020). Effect of substituting fine rutile of the flux with nano TiO₂ on the improvement of mass transfer efficiency and the reduction of welding fumes in the stainless steel SMAW electrode. *High Temperature Materials and Processes*, 39(2020), 117–123. <https://doi.org/10.1515/htmp-2020-0030>
- Preedawiphat, P., Mahayotsanun, N., Sa-Ngoen, K., Noipitak, M., Tuengsook, P., Sucharitpwatskul, S., & Dohda, K. (2020). Mechanical Investigations Of Astm A36 Welded Steels With Stainless Steel Cladding. *Coatings*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/Coatings10090844>

- Restu, E. W., 2016. Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Jenis Kampuh Las Terhadap Kekerasan Dan Struktur Makro Terhadap Pengelasan Aisi Stainless Steel 304. *Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 1(1), Pp. 55-69.
- Rusjdi, H., Pramono, A. W. & Faathir, W. B., 2016. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Aisi 4340. *Jurnal Power Plant*, Vol. 4, No. 2, Senin Mei, 4(Issn : 2356-1513), Pp. Issn : 2356-1513.
- Rusnaldy, R., & Maulana, M. E. (2017). Pengujian Mampu Las Baja Karbon Astm A36 Dengan Proses Las Busur Listrik. *Rotasi*, 19(4), 226. <https://doi.org/10.14710/Rotasi.19.4.226-230>
- Santoso, T. B., Solichin & Hutomo, P. T., 2015. Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las Smaw Dengan Elektroda E7016. *Jurnal Teknik Mesin*, Tahun 23, No. 1, April, Pp. 56-64.
- Singh, V. K., Jaswal, B. S., Sharma, J., & Rai, P. K. (2020). Analysis Of Stones Formed In The Human Gall Bladder And Kidney Using Advanced Spectroscopic Techniques. *Biophysical Reviews*, 12(3), 647–668. <https://doi.org/10.1007/s12551-020-00697-2>
- Shahab, A. (2010). Kekasaran dan Morfologi Hasil Pengelasan TIG Baja Tahan Karat 316 dengan Kadar Sulfur Berbeda. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 27–34. <https://doi.org/10.9744/jtm.12.1.27-34>
- Singh, V. K., Jaswal, B. S., Sharma, J., & Rai, P. K. (2020). Analysis of stones formed in the human gall bladder and kidney using advanced spectroscopic techniques. *Biophysical Reviews*, 12(3), 647–668. <https://doi.org/10.1007/s12551-020-00697-2>
- Sulistiyo, W., Perkasa, M., Irawadi, Y., Fitriyana, B., & Sumarsono, D. A. (2019).

Konsep Keterbaruan Desain Alat Uji Berat Kereta Portabel. *Piston: Journal of Technical Engineering*, 2(2), 16–23.
<https://doi.org/10.32493/pjte.v2i2.3609>

Swain, J., Widom, A., & Srivastava, Y. N. (2014). Asymptotic High Energy Total Cross Sections and Theories with Extra Dimensions. *Science*, 6.

Wang, H., Qin, R., & He, G. (2016). SiO₂ and CaF₂ Behavior During Shielded Metal Arc Welding and Their Effect on Slag Detachability of the CaO-CaF₂-SiO₂ Type ENiCrFe-7-Covered Electrode. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 47(9), 4530–4542. <https://doi.org/10.1007/s11661-016-3629-x>

Wardani, C. U., 2019. Analisis Pengujian Impak Metoda Izod Dan Charpy Menggunakan Benda Uji Aluminium Dan Baja St37. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Majalengka*.

Weman, K., 2012. *Welding Processes Handbook*. London: Elsevier, Inc.

Wirjosumarto, H., 2000. Teknologi Pengelasan Logam. *Corresponden Inspektur Pt. Pradnya Paramita*.

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

1. Perhitungan Harga Impak

$$HI = \frac{\text{Energi Impak (Joule)}}{\text{Luas Penampang (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{Luas Penampang} = \text{panjang takik} \times \text{lebar}$$

a. Elektroda Lokal 120 Ampere

HI pada -50°C

$$\text{Luas Penampang} = 11,5 \text{ mm} \times 7,79 \text{ mm} = 87,63 \text{ mm}^2 = 0,876 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{14,5 \text{ Joule}}{0,876 \text{ m}^2} = 16,54 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,51 \text{ mm} \times 7,83 \text{ mm} = 82,29 \text{ mm}^2 = 0,829 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{53 \text{ Joule}}{0,829 \text{ m}^2} = 64,403 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,41 \text{ mm} \times 7,1 \text{ mm} = 73,911 \text{ mm}^2 = 0,739 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{90 \text{ Joule}}{0,739 \text{ m}^2} = 121,768 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0°C

$$\text{Luas Penampang} = 11,04 \text{ mm} \times 7,93 \text{ mm} = 87,547 \text{ mm}^2 = 0,875 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{103 \text{ Joule}}{0,739 \text{ m}^2} = 121,768 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,97 \text{ mm} \times 7,32 \text{ mm} = 80,300 \text{ mm}^2 = 0,803 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{99 \text{ Joule}}{0,739 \text{ m}^2} = 121,768 \text{ J/cm}^2$$

b. Elektroda Lokal 155 Ampere

HI pada -50°C

$$\text{Luas Penampang} = 9,45 \text{ mm} \times 8,96 \text{ mm} = 84,672 \text{ mm}^2 = 0,846 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{11 \text{ Joule}}{0,846 \text{ m}^2} = 12,991 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,18 \text{ mm} \times 8,18 \text{ mm} = 83,272 \text{ mm}^2 = 0,833 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{18 \text{ Joule}}{0,833 \text{ m}^2} = 21,991 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,44 \text{ mm} \times 8,17 \text{ mm} = 85,294 \text{ mm}^2 = 0,853 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{144 \text{ Joule}}{0,852 \text{ m}^2} = 168,826 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0°C

$$\text{Luas Penampang} = 10,2 \text{ mm} \times 8,05 \text{ mm} = 82,593 \text{ mm}^2 = 0,829 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{28 \text{ Joule}}{0,829 \text{ m}^2} = 33,901 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20°C

$$\text{Luas Penampang} = 8,81 \text{ mm} \times 7,63 \text{ mm} = 67,220 \text{ mm}^2 = 0,6722 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{105 \text{ Joule}}{0,6722 \text{ m}^2} = 132,145 \text{ J/cm}^2$$

c. Elektroda Lokal 190 Ampere

HI pada -50°C

$$\text{Luas Penampang} = 9,45 \text{ mm} \times 8,96 \text{ mm} = 84,672 \text{ mm}^2 = 0,846 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{7,5 \text{ Joule}}{0,846 \text{ m}^2} = 12,991 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20°C

$$\text{Luas Penampang} = 9,95 \text{ mm} \times 7,62 \text{ mm} = 75,819 \text{ mm}^2 = 0,758 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{22 \text{ Joule}}{0,758 \text{ m}^2} = 29,016 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10° C

$$\text{Luas Penampang} = 10,24 \text{ mm} \times 7,83 \text{ mm} = 80,179 \text{ mm}^2 = 0,802 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{37 \text{ Joule}}{0,802 \text{ m}^2} = 46,146 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0° C

$$\text{Luas Penampang} = 10,33 \text{ mm} \times 7,26 \text{ mm} = 74,995 \text{ mm}^2 = 0,749 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{146 \text{ Joule}}{0,749 \text{ m}^2} = 194,677 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20° C

$$\text{Luas Penampang} = 10,18 \text{ mm} \times 8,05 \text{ mm} = 81,949 \text{ mm}^2 = 0,8195 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{76 \text{ Joule}}{0,8195 \text{ m}^2} = 92,74 \text{ J/cm}^2$$

d. Elektroda Impor 120 Ampere

HI pada -50° C

$$\text{Luas Penampang} = 7,89 \text{ mm} \times 9,99 \text{ mm} = 78,821 \text{ mm}^2 = 0,788 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{8,5 \text{ Joule}}{0,788 \text{ m}^2} = 10,7839 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,44 \text{ mm} \times 8,33 \text{ mm} = 78,635 \text{ mm}^2 = 0,7863 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{140 \text{ Joule}}{0,7863 \text{ m}^2} = 178,037 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10° C

$$\text{Luas Penampang} = 10,35 \text{ mm} \times 8,05 \text{ mm} = 83,3175 \text{ mm}^2 = 0,83317 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{44 \text{ Joule}}{0,8331 \text{ m}^2} = 52,8110 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,39 \text{ mm} \times 8,5 \text{ mm} = 79,815 \text{ mm}^2 = 0,7981 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{52 \text{ Joule}}{0,7981 \text{ m}^2} = 65,150 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,45 \text{ mm} \times 7,58 \text{ mm} = 71,631 \text{ mm}^2 = 0,7163 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{120 \text{ Joule}}{0,7163 \text{ m}^2} = 167,525 \text{ J/cm}^2$$

e. Elektroda Impor 155 Ampere

HI pada -50° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,71 \text{ mm} \times 8,05 \text{ mm} = 81,949 \text{ mm}^2 = 0,8195 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{7,5 \text{ Joule}}{0,8195 \text{ m}^2} = 10,326 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,61 \text{ mm} \times 7,11 \text{ mm} = 68,327 \text{ mm}^2 = 0,68327 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{30 \text{ Joule}}{0,68327 \text{ m}^2} = 43,906 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10° C

$$\text{Luas Penampang} = 8,96 \text{ mm} \times 7,6 \text{ mm} = 68,096 \text{ mm}^2 = 0,6809 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{96 \text{ Joule}}{0,6809 \text{ m}^2} = 140,977 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,75 \text{ mm} \times 7,04 \text{ mm} = 68,64 \text{ mm}^2 = 0,6864 \text{ cm}^2$$

$$HI = \frac{53 \text{ Joule}}{0,6864 \text{ m}^2} = 77,214 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,42 \text{ mm} \times 7,02 \text{ mm} = 66,1284 \text{ mm}^2 = 0,6613 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{146 \text{ Joule}}{0,6613 \text{ m}^2} = 220,782 \text{ J/cm}^2$$

f. Elektroda Impor 190 Ampere

HI pada -50° C

$$\text{Luas Penampang} = 10,34 \text{ mm} \times 7,31 \text{ mm} = 75,5854 \text{ mm}^2 = 0,7558 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{18 \text{ Joule}}{0,7558 \text{ m}^2} = 23,8141 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,65 \text{ mm} \times 7,15 \text{ mm} = 68,997 \text{ mm}^2 = 0,6899 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{120 \text{ Joule}}{0,6899 \text{ m}^2} = 173,919 \text{ J/cm}^2$$

HI pada -10° C

$$\text{Luas Penampang} = 8,81 \text{ mm} \times 7,15 \text{ mm} = 62,991 \text{ mm}^2 = 0,6299 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{42 \text{ Joule}}{0,6299 \text{ m}^2} = 66,675 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 0° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,55 \text{ mm} \times 7,33 \text{ mm} = 70,0015 \text{ mm}^2 = 0,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{53 \text{ Joule}}{0,7 \text{ m}^2} = 75,712 \text{ J/cm}^2$$

HI pada 20° C

$$\text{Luas Penampang} = 9,31 \text{ mm} \times 7,04 \text{ mm} = 65,5424 \text{ mm}^2 = 0,6554 \text{ cm}^2$$

$$\text{HI} = \frac{123 \text{ Joule}}{0,6554 \text{ m}^2} = 187,664 \text{ J/cm}^2$$

2. Perhitungan Tegangan Tarik

$$\text{Tegangan (Mpa)} = \frac{\text{Energi (Newton)}}{\text{Luas Penampang (cm}^2\text{)}}$$

a. Elektroda Lokal

- 120 Ampere

$$\text{Tensile Strength} = \frac{72,5}{0,185} = 390,54 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 390,54 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 39,48 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = \frac{92,5}{0,185} = 498 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 498 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 50,4 \text{ Kgf/cm}^2$$

- 155 Ampere

$$\text{Tensile Strength} = \frac{72,5}{0,178} = 405 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 498,2 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 50,37 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = \frac{95}{0,178} = 531 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 531 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 53,69 \text{ Kgf/cm}^2$$

b. Elektroda Impor

- 120 Ampere

$$\text{Tensile Strength} = \frac{77,5}{0,179} = 433 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 433 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 43,86 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = \frac{97,5}{0,179} = 546 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 546 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 55,19 \text{ Kgf/cm}^2$$

- 155 Ampere

$$\text{Tensile Strength} = \frac{75}{0,179} = 417 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diubah dalam Kgf/cm}^2 = 417 * 0,102097 \text{ (konversi)} = 42,23 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = \frac{97,5}{0,179} = 543 \text{ Mpa}$$

Diubah dalam $\text{Kgf/cm}^2 = 543 * 0,102097$ (konversi) = 54,89 Kgf/cm^2

- 190 Ampere

$$\text{Tensile Strength} = \frac{77,5}{0,177} = 436 \text{ Mpa}$$

Diubah dalam $\text{Kgf/cm}^2 = 436 * 0,102097$ (konversi) = 44,17 Kgf/cm^2

$$\text{Ultimate Tensile Strength (UTS)} = \frac{95}{0,177} = 536 \text{ Mpa}$$

Diubah dalam $\text{Kgf/cm}^2 = 536 * 0,102097$ (konversi) = 54,14 Kgf/cm^2

LAMPIRAN B
HASIL PENELITIAN

RUN SHEET

WPS No. : 155/2/Lokal PQR No. : 155/2/Lokal
 TEST MATERIAL : Plate Pipe TEST POSITION :

Specification : ASTM A36
 Diameter :
 Heat No. :
 Thickness : 10 mm
 Plate No. :
 Dimension : 300 x 200 x 10 mm

CONSUMABLE

Item	Process	Filler Metal	Size (mm)	Brand Name	Heat/Lot No.	Flux/Gas	Flux Lot
Root	SMAW	E 7016	4	TaiYue			
Fill	SMAW	E 7016	4	TaiYue			
Cap	SMAW	E 7016	4	TaiYue			

WELDER

Item	Welder Name	Welder Stamp
Tack Weld	Haerul	
Root Pass	Haerul	
Fill Weld	Haerul	
Cap	Haerul	

JOINT

Joint Id	
Type	Butt Weld
groove Angle	60° Degree / Side
Root Gap	2 mm
Root Face	2 mm

HEAT TREATMENT

PWHT YES NO

PREHEATING TEMPERATURE (MIN) : 50° Degree

INTERPASS TEMPERATURE (MAX) : 400 Degree

GASSES

Shield Gas :
 Tungsten Electrode :
 Purge Gas Type :
 Flow :

OTHER

Test Date :

PASS SEQUENCE

Start Time	Side	Pass	Electrode		Polarity	Amperage (A)		Voltage (V)		Wire Feed Speed (mm/min)	Travel Speed (mm/min)	Average Heat Input (kJ/mm)	Interpass Temp (°C)	Finish Time
			Size (mm)	Type		Min	Max	Min	Max					
12.10	1	1	4	7016	DCRP	147	158	3.2	4.8	01.98	166.69	0.22	60°	12.45
12.59	2	1	4	7016	DCRP	149	152	4.1	6.2	01.39	181.81	0.26	120°	13.26
13.30	3	1	4	7016	DCRP	158	168	2.8	3.9	01.50	163.69	0.2	150	13.52
14.10	4	1	4	7016	DCRP	157	158	3.2	5.3	01.28	209.51	0.15	132	14.32

Recorded By : SANDY PERMANA

Gambar B.2 Run Sheet Welding Elektroda Lokal 155 Ampere

RUN SHEET

WPS No. : 120/1/Impor PQR No. : 120/1/Impor

TEST MATERIAL : Plate Pipe TEST POSITION :

Specification : ASTM A36

Diameter : -

Heat No. : -

Thickness : 10 mm

Plate No. : -

Dimension : 300 x 200 x 10 mm

CONSUMABLE

	Process	Filler Metal	Size (mm)	Brand Name	Reel/Lot No.	Flux/Gas	Flux Lot
Base	SMAW	E 7016	9	Kobelco			
Fill	SMAW	E 7016	9	Kobelco			
Cap	SMAW	E 7016	9	Kobelco			

WELDER

	Welder Name	Welder Stamp
Tack Weld	HAEFU	
Root Pass	HAEFU	
Fill Weld	HAEFU	
Cap	HAEFU	

JOINT

Joint Id : 0144 Weld

Type : Groove

Groove Angle : 60° Degree / Side

Root Gap : 2 mm

Root Face : 2 mm

HEAT TREATMENT

PHWT YES NO

PREHEATING TEMPERATURE (MIN) : 50° Degree

INTERPASS TEMPERATURE (MAX) : 400° Degree

GASSES

Nozzle Size : -

Support Diameter : -

Purge Gas : Type : -

Flow : -

OTHER

Test Date :

PASS SEQUENCE

Start Time	Side	Pass	Electrode		Polarity	Amperage (A)		Voltage (V)		Wire Feed Speed (mm/Min)	Travel Speed (mm/Min)	Average Heat Input (kJ/MM)	Interpass Temp (°C)	Finish Time
			Size (mm)	Type		Min	Max	Min	Max					
10.01	1	1	9	7016	DCEP	121	129	3.8	4.6	03.09	95.29	0.32	129	10.13
10.15	2	1	9	7016	DCEP	121	123	3.7	4.2	01.53	159.29	0.18	208	10.22
10.23	3	1	9	7016	DCEP	123	130	4	5.6	02.42	111.11	0.33	329	10.31
10.33	4	1	9	7016	DCEP	123	130	5.6	8	01.14	293.29	0.21	193	10.41

Recorded By : SANDY PERMANG

Gambar B.4 Run Sheet Welding Elektroda Impor 120 Ampere

RUN SHEET

WPS No. : 155 / 2 / Import
 TEST MATERIAL : Plate Pipe
 PQR No. : 155 / 2 / Import
 TEST POSITION :
 Specification : ASTM A36
 Diameter : -
 Heat No. : -
 Thickness : 10 MM
 Plate No. : -
 Dimension : 300 X 300 X 10 MM

Consumable	Process	Filler Metal	Size (mm)	Brand Name	Heat/Lot No.	Flux/Gas	Flux Lot
Root	SMAW	E 7016	4	Polysol			
Fill	SMAW	E 7016	4	Polysol			
Cap	SMAW	E 7016	4	Polysol			

WELDER

Task Weld	Welder Name	Welder Stamp
Root Pass	Marcus	
Fill Weld	Marcus	
Cap	Marcus	

JOINT

Joint Id	
Type	Butt weld
Groove Angle	60° Degree / Side
Root Gap	2 mm
Root Face	2 mm

HEAT TREATMENT

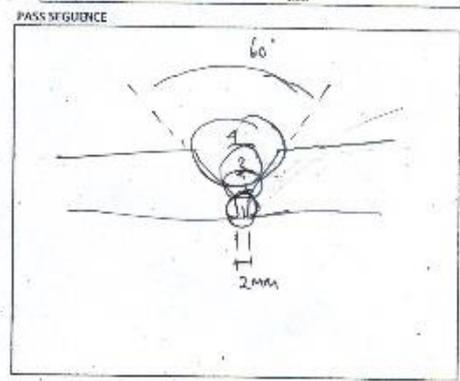
POST YES NO

PREHEATING TEMPERATURE (MIN) : 30° Degree

INTERPASS TEMPERATURE (MAX) : 400 Degree

GASES

Nozzle Size : -
 Tungsten Diameter : -
 Purge Gas Type : -
 Flow : -



OTHER

Test Date

Start Time	Side	Pass	Electrode		Polarity	Amperage (A)		Voltage (V)		Wire Feed Speed (mm/min)	Travel Speed (mm/min)	Average Heat Input (kJ/mm)	Interpass Temp (°C)	Finish Time
			Size (mm)	Type		Min	Max	Min	Max					
10.46	1	1	4	E7016	DCRP	157	157	107	149	02.07	191.93	0.73	109	10.52
11.10	2	1	4	E7016	DCRP	155	160	112	131	02.09	191.73	0.78	356	11.16
11.19	3	1	4	E7016	DCRP	155	166	140	136	02.10	130.93	0.91	235	11.31
13.50	4	1	4	E7016	DCRP	153	162	116	140	01.41	178.22	0.68	168	14.02

Recorded By : SANDY PERMANA

Gambar B.5 Run Sheet Welding Elektroda Impor 155 Ampere

RUN SHEET

WPS No. : 190/3/Impor PQR No. : 190/3/Impor

TEST MATERIAL Plate Pipe TEST POSITION

Specification : ASTM A26
 Diameter :
 Heat No. :
 Thickness : 10 mm
 Plate No. :
 Dimension : 300 x 200 x 10 mm

CONSUMABLE

	Process	Filler Metal	Size (mm)	Brand Name	How/Lot No.	Flux/Gas	Flux Lot
Root	SMAW	E 7016	4	ROBEL CO			
Fill	SMAW	E 7016	4	ROBEL CO			
Cap	SMAW	E 7016	4	ROBEL CO			

WELDER

	Welder Name	Welder Stamp
Tack Weld	Haerul	
Root Pass	Haerul	
Fill Weld	Haerul	
Cap	Haerul	

JOINT

Joint Id :
 Type : Butt Weld
 Groove Angle : 60° Degree / Side
 Root Gap : 2 mm
 Root Face : 2 mm

HEAT TREATMENT

PWHT YES NO
 PREHEATING TEMPERATURE (MIN) : 80° Degree
 INTERPASS TEMPERATURE (MAX) : 400° Degree

GASSES

Nozzle Size :
 Tip/Nozzle Diameter :
 Purge Gas : Type :
 Flow :

OTHER

Test Date :

PASS SEQUENCE

Start Time	Side	Pass	Electrode		Polarity	Amperage (A)		Voltage (V)		Wire Feed Speed (mm/Min)	Travel Speed (mm/Min)	Average Heat Input (kJ/mm)	Interpass Temp (°C)	Finish Time
			Size (mm)	Type		Min	Max	Min	Max					
14.15	1	1	4	7016	DCRP	189	190	196	196	01.10	253,14	0,8	152	14.19
14.20	2	1	4	7016	DCRP	189	191	190	190	01.33	193,55	1,06	150	14.27
14.29	3	1	4	7016	DCRP	191	195	190	196	01.09	201,25	0,68	152	14.34
14.36	4	2	4	7016	DCRP	189	190	127	191	01.20	228	0,38	238	14.42

Recorded By : SANDY PERMANAH

Gambar B.6 Run Sheet Welding Elektroda Impor 190 Ampere

Hasil Uji Impact Elektroda Impor dan Lokal						
No	Nama	Dimensi (pxlxt)(mm)	Takik (mm)	Suhu (°C)	Arus (A)	Energi (Joule)
1	Elektroda Lokal	65 x 11.25 x 9.48	7.79	-50	120	8.5
		65 x 9.45 x 9.45	7.83	-50	155	7.5
		63.64 x 8.81 x 9.7	7.1	-50	190	18
2	Elektroda Impor	65.51 x 9.99 x 9.47	7.93	-50	120	14.5
		65.9 x 9.71 x 9.61	7.32	-50	155	11
		61.57 x 10.34 x 10.07	8.96	-50	190	7.5
3	Elektroda Lokal	64.34 x 10.51 x 9.45	8.18	-20	120	140
		63.44 x 10.18 x 9.56	8.17	-20	155	30
		61.36 x 9.95 x 9.51	8.05	-20	190	120
4	Elektroda Impor	65.53 x 9.44 x 9.55	7.79	-20	120	53
		63.91 x 9.61 x 9.52	7.63	-20	155	18
		63.48 x 9.65 x 9.51	7.62	-20	190	22
5	Elektroda Lokal	64.45 x 10.41 x 9.55	7.83	-10	120	44
		64.16 x 10.44 x 9.51	7.26	-10	155	96
		61.41 x 10.24 x 9.48	8.05	-10	190	42
6	Elektroda Impor	65.36 x 10.35 x 9.36	7.89	-10	120	90
		64.6 x 8.96 x 9.53	8.33	-10	155	144
		63.48 x 8.81 x 9.38	8.05	-10	190	37
7	Elektroda Lokal	63.89 x 11.04 x 9.5	8.5	0	120	52
		64.02 x 10.26 x 9.48	7.58	0	155	53
		60.74 x 10.33 x 9.46	7.48	0	190	53
8	Elektroda Impor	65.18 x 9.39 x 9.34	7.11	0	120	103
		64.48 x 9.75 x 9.35	7.6	0	155	28
		63.39 x 9.55 x 9.46	7.04	0	190	146
9	Elektroda Lokal	64.10 x 10.97 x 9.44	7.02	20	120	120
		63.10 x 10.20 x 9.43	7.31	20	155	146
		61.09 x 10.18 x 9.45	7.15	20	190	123
10	Elektroda Impor	64.87 x 9.45 x 9.26	7.15	20	120	99
		63.57 x 9.42 x 9.33	7.33	20	155	105
		64.14 x 9.31 x 9.23	7.16	20	190	76

Gambar B.7 Data Pengujian Impact

BRIN		KEDEPUTIAN BIDANG INFRASTRUKTUR RISET DAN INOVASI					TANGGAL :			
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL		DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET, DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI								
		LABORATORIUM KEKUATAN STRUKTUR								
		KAWASAN PUSPIPTEK Gd. 220 SETU - TANGERANG SELATAN 15314 BANTEN								
		Telp. 08159085404 Email : lab.iks@brin.go.id								
No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI			PANJANG AWAL Lo (mm)	PERUBAHAN PANJANG ΔL (mm)	GAYA YIELD Fy (kgf/N/kN)*	GAYA MAKSIMUM Fm (kgf/N/kN)*	KODE / MEREK	KETERANGAN
		1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)						
1	E 6013	19,5	9,52						Taykai 2	155 A
2	E 6013	18,55	9,67						Taykai 2	190 A
3	E 6013	19,09	9,37						Taykai 2	120 A
4	E 7016	18,94	9,43						KOBE	155 A
5	E 7016	19,04	9,43						KOBE	120 A
6	E 7016	18,95	9,36						KOBE	190 A
7										
8										
9										
10										

*) Coret yang tidak perlu

PERALATAN UJI :	CUSTOMER :	SAKSI :
PELAKSANA :	NO. ID :	1.
1.	STANDAR :	2.
2.	TEMPERATUR :	3.

Hasil uji ini hanya representatif dari spesimen yang diuji, di luar spesimen tersebut...

Gambar B.8 Laporan Hasil Uji Tertulis BRIN

LAPORAN UJI TARIK STATIS
TENSION TEST REPORT

<p>Pemakai Jasa : PT. TAYKAI ELEKTRONICS INDONESIA Customer : Jalan Syeh Mubarak Kp. Bugel RT. 001 RW. 004 Kec. Tigaraksa, Tangerang</p>	<p>Objek : Sambungan Las Object :</p>
<p>No. Kontrak : KM-LUJK.89915/2023 Contract Nr :</p>	<p>Material : Baja Material :</p>
<p>No Laporan : 0367.LTKS/K.89915/2023 Report Nr :</p>	<p>Standar : SNI 8389:2017 Standard :</p>
<p>Tanggal : 30 Agustus 2023 Date :</p>	<p>Mesin Uji : UPM 1000 Test Machine :</p>

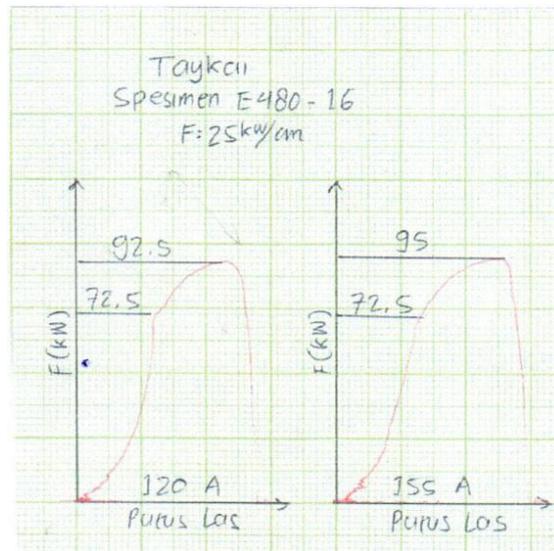
No	Dimensi (mm)		Ao (mm ²)	Fy (kN)	Fm (kN)	σ_y		σ_u		Kode	Keterangan
	Lebar	Tebal				(N/mm ²)	(kgf/cm ²)	(N/mm ²)	(kgf/cm ²)		
1	18,87	9,78	184,55	60,0	85,0	325	3314	461	4695	Sambungan las Pelat, E420-13 120A	Putus di lasan
2	19,62	9,24	181,29	72,5	90,0	400	4077	496	5061	Sambungan las Pelat, E420-13 190A	Putus di lasan
3	19,15	9,33	178,67	72,5	92,5	406	4136	518	5277	Sambungan las Pelat, E480-16 120A	Putus di lasan
4	19,40	9,23	179,06	72,5	95,0	405	4127	531	5408	Sambungan las Pelat, E480-16 155A	Putus di lasan

Keterangan :

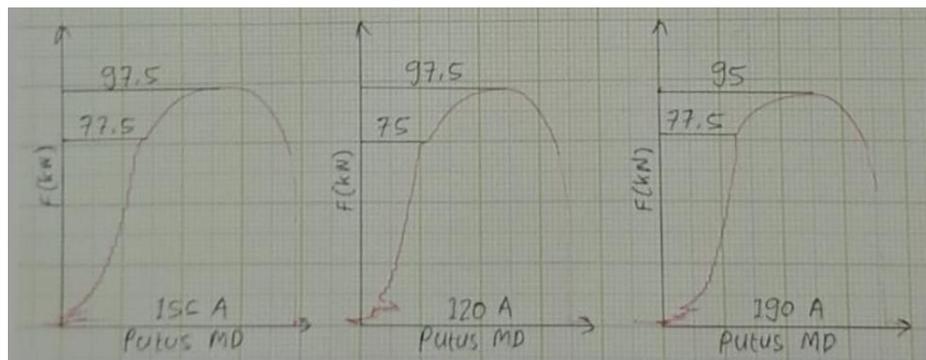
Ao = Luas penampang	Fm = Beban tarik	σ_y = Kuat luluh
Fy = Beban luluh		σ_u = Kuat tarik

- Kode yang tercantum berasal dari Customer.
- Hasil uji hanya representatif batang uji yang diuji, di luar batang uji tersebut bukan tanggung jawab Laboratorium Teknologi Kekuatan Struktur (Lab. TKS) BRIN.

Gambar B.9 Laporan Hasil Uji Statis BRIN



Gambar B.10 Grafik Uji Tarik Pada Elektroda Lokal



Gambar B.11 Grafik Uji Tarik Pada Elektroda impor



(a)



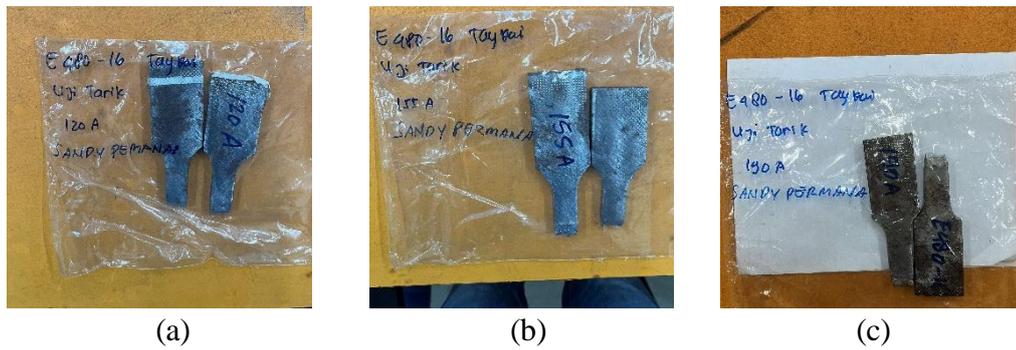
(b)



(c)

Gambar B.12 Hasil Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Lokal

(a) 120 A (b) 155 A (c) 190A



Gambar B.13 Hasil Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Impor
(a) 120 A (b) 155 A (c) 190A

BRIN
 BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET,
 DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI
 LABORATORIUM TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR
 KAWASAN PUSPIPEK Gd. 220 SETU - TANGERANG SELATAN 15314 BANTEN

FORMULIR PENGUJIAN TEKUK
 TANGGAL :

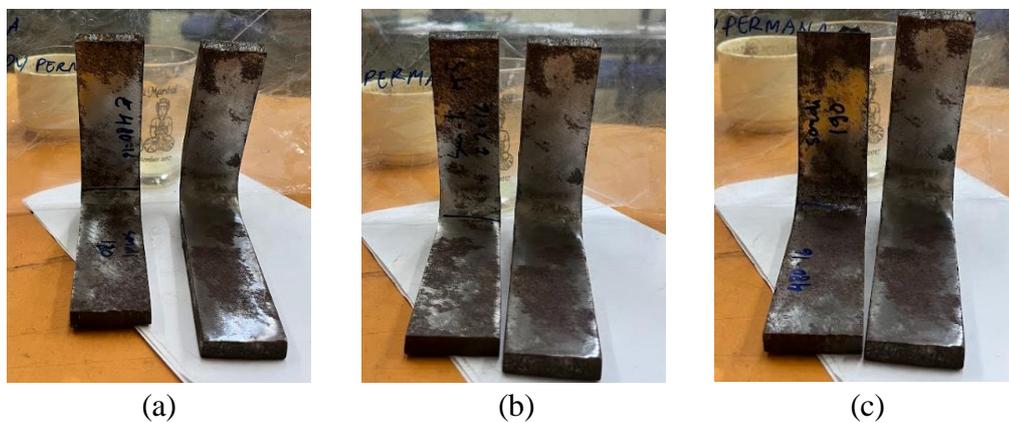
No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI (mm)	DIAMETER PELENGKUNG (mm)	SUDUT TEKUK (°)	KODE / MEREK	PENAMPILAN	KETERANGAN
1	E 480 - 16 / 120A	38.96 / 9.48		120	tay Kei	Tidak Retak	Sancti Permana
2	190 A	38.75 / 9.43		"	"	Tdk Retak	"
3	155 A	37.36 / 9.48		"	"	Tdk Retak	"
4	E 7016 / 190A	37.73 / 9.54		"	"	Tdk Retak	"
5	120 A	39.39 / 9.50		"	"	Tdk Retak	"
6	155 A	38.31 / 9.40		"	"	Tdk Retak	"
7	E 6013 155A	38.69 / 9.73		"	" 2	Tdk Retak	"
8	190A	38.80 / 9.83		"	Kobe 10	Retak !	"
9							
10							

PERALATAN UJI :
 PELAKSANA :
 1.

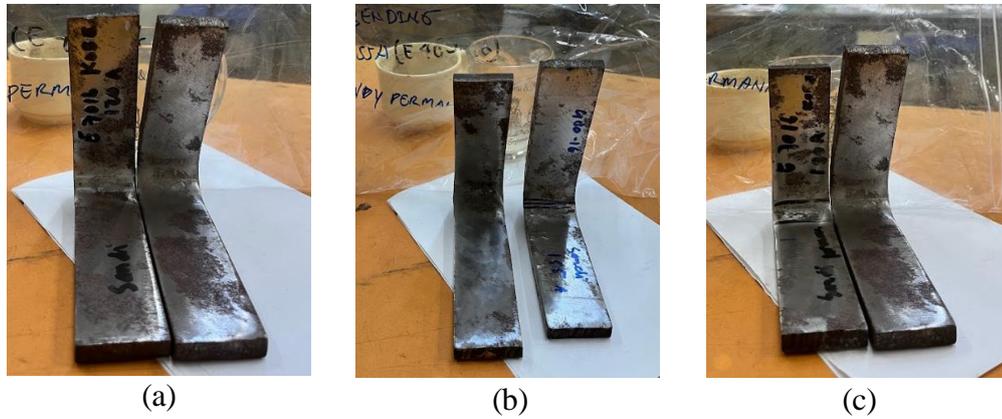
CUSTOMER :
 NO. ID :
 STANDAR :
 TEMPERATUR :

SAKSI :
 1.
 2.
 3.

Gambar B. 14 Hasil Pengujian *Bending* Tertulis BRIN



Gambar B.15 Hasil Karakterisasi *Bending* Elektroda Lokal (a) 120 A (b) 155 A (c) 190A



Gambar B.16 Hasil Karakterisasi *Bending* Elektroda Impor (a) 120 A (b) 155 A (c) 190A

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN



Gambar C.1 Alat Uji XRF



Gambar C.2 Alat Uji *Bending*



Gambar C.3 Alat Uji *Impact*



Gambar C.4 Alat Uji OM



Gambar C.5 Alat Uji Tarik



Gambar C.6 Mesin Las SMAW



Gambar C.7 Tang Ampere



Gambar C.8 Mesin Gerindra



Gambar C.9 Palu



Gambar C.10 Mesin Las *Cutting*



Gambar C.11 *Welding Gauge*



Gambar C.12 Meja Las



Gambar C.13 Sarung Tangan



Gambar C.14 Kacamata Las



Gambar C.15 Apron Las



Gambar C.16 Kertas Amplas



Gambar C.17 Pelat ASTM A36



Gambar C.18 Elektroda Lokal



Gambar C.19 Elektroda Impor



Gambar C.20 Pasta Alumina